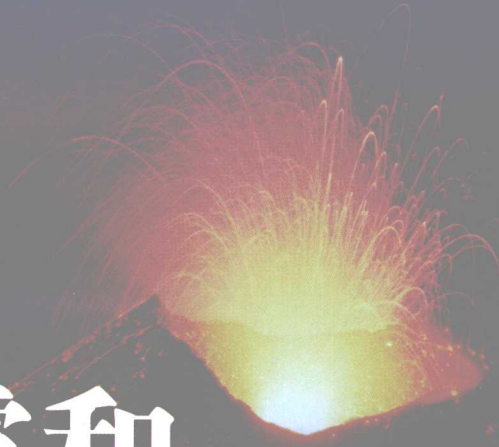




预测地震和 火山喷发的地震学

SEISMOLOGY OF EARTHQUAKE AND
VOLCANO PREDICTION

Keiiti Aki (安艺敬一) 著
尹祥础 等 译



科学出版社
www.sciencep.com

预测地震和火山喷发的地震学

Keiiti Aki (安艺敬一) 著
尹祥础 等 译

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书包含中文和英文两部分,作者安艺敬一教授是国际顶尖的地震学家。本书是他生前的最后一部著作,凝结着他毕生研究地震和火山的心血,尤其是在地震和火山预测方面,他提出了一系列新思路和新方法,以及支持这些新思路和新方法的观测结果和理论基础。本书主要内容包括地震和火山前兆的新观点和地震预测的地震学方法两大部分,尤其是尾波 Q 值、 M_c 的概念及其观测为地震预测开辟了全新的思路和途经。

本书可供地震学和相关领域内的研究人员、工程人员和教师阅读,也可作为研究生和大学高年级学生的教科书。

图书在版编目(CIP)数据

预测地震和火山喷发的地震学/安艺敬一著,尹祥础等译. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-024418-5

I. 预… II. ①安…②尹… III. ①地震预报②火山喷发-预测
IV. P315.7 P317.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第057547号

责任编辑:罗吉 朱海燕/责任校对:赵燕珍

责任印制:钱玉芬/封面设计:王浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009年5月第一次印刷 印张:21 1/2

印数:1—3 000 字数:520 000

定价:90.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

中译本前言

2005年5月17日,一颗科学巨星在印度洋上空陨落,一代地震学大师安艺敬一(Keiiti Aki,爱称 Kei)教授在非洲留尼旺岛逝世。纽约时报资深记者 Jeremy Pearce 为此撰文,在该报显著版面上报道 Kei 的死讯,全球地震界都为丧失了一位良师益友而感到悲伤。所幸他的一系列著作依然闪烁着他的智慧和成就,好像在诉说着他对地震学许多问题的真知灼见。除了他已发表的著作之外,他去世前还留下了一部未出版的著作,就是本书。

提笔至此,我与 Kei 从相识到相知的一幕幕往事如电影般地在脑海中浮现。Kei 是访问中国最早、最多的美国地震学家之一,记得 20 世纪 80 年代初他的首次访华,在傅承义教授主持的一个小型座谈会上,他谈起 Segall 的一篇论文,当时他一时记不起作者的名字,根据文章的内容我试着说,是不是 Segall? 后来我们比较熟悉后,他对我说,他对我们如此了解美国的科学成果感到 Amazing (惊讶)。还有一次是 20 世纪 90 年代,他来北京参加王仁先生组织的一次地球动力学方面的学术讨论会。之前我寄过几篇关于加卸载响应比方面的论文给他,而且部分是用中文发表的。他主动约我到下榻的友谊宾馆长谈。我一进门他就拿出一张 A4 大小的纸,上面写满了问题和意见。他一口气问了十几个问题,当我回答完最后一个问题时,他满意地说:“Now I really understand your theory”,接着又提了一系列建议,并主动留下他当时的同事(金安蜀教授)和学生(欧阳洪萍博士)的联系方式,并请她们给我提供了许多宝贵数据(尾波等)进行加卸载响应比方面的研究。后来我们在 ACES (APEC Cooperation for Earthquake Simulation) 的系列活动中多次接触而变得熟识起来(在 ACES 中,我是中方的负责人,他是美方的主要参加者)。记得有一次在日本箱根召开的 ACES Workshop 期间,他悄悄告诉我,宾馆不远处一家小吃店的豆腐很好吃。一件小事,却生动地表明了他的友善。

2003 年在日本的札幌开 IUGG 会议,会下我们热烈地讨论他关于地震前兆的新认识,并邀请他参加次年在北京召开并由我主持的 ACES 学术讨论会。他虽然因患癌症刚做过手术,依然很爽快地答应了。交谈中,他谈及他写了一本相关的讲义,但目前还没有出版,我当时就想到将其译成中文在中国出版,但因为涉及经费等我没有把握解决的问题,所以没有说出来。在以后的 E-mail 中他谈到 “I wonder if I can find a publisher of such a note in China. I am not interested in making any money from the publication. I only want to tell seismologists of the word what I found from my 50 years' research on earthquake and volcano that I believe benefit the future of mankind”。

2004 年底,他应北京大学陈晓非教授(Kei 是他攻读博士学位的导师)的邀请来华访问。他事先告知我这次访问的日程,并约定在北京详细地讨论这本书的翻译和出版。在北京,我们多次共同聚会并达成共识:在中国用中、英文同时出版本书,他不收取稿

酬。没想到他在次年 5 月突然去世，这次相聚竟成了永别。而在中国出版本书，不收取稿酬，当时未留下任何书面文件。经过几年的努力，才解决本书在中国出版的经费、版权等一系列问题。现在我终于可以告慰 Kei：他的遗著终于即将出版了！他的遗愿：“我只想告诉全球的地震学家，我研究地震和火山 50 年的发现……我相信它会有益于全人类的未来”也可以实现了。

对于大多数中国地震学家，关于 Kei 不必多加介绍，但对于年轻学者及后来人，可能对 Kei 不够了解。上面提过的纽约时报资深记者，在其报道 Kei 逝世的稿件中，对 Kei 的生平作了简要介绍，现摘取其中部分内容附于前言之后供有关读者参考。

本书的出版得到 Shota Aki、Shuichi Aki、金安蜀、陈晓非、沈正康、车时、刘桂萍、马宏生、尹琳玉和袁帅等许多友人的帮助，在此表示衷心的感谢。

参加本书翻译的有尹祥础、张永仙、王裕仓、周龙泉、张浪平、张晖辉等，全书由尹祥础统稿。虽然我们已倾全力而为，但由于时间仓促，加上水平有限，缺点、错误在所难免，恳请读者批评指正。

尹祥础

2008 年 12 月于北京

纽约时报关于 Kei 死讯的报道 (部分内容)

Keiiti Aki, 75, Is Dead; Developed a Way to Measure the Strength of an Earthquake

By JEREMY PEARCE

Published: May 27, 2005, New York Times



安艺敬一 (Keiiti Aki), 一个对地震成因和行为有透彻地研究、对深入理解自然灾害有极大贡献的地震学家, 于 2005 年 5 月 17 日在印

度洋 Réunion 岛去世, 时年 75 岁。

南加州地震中心的好友 John K. McRaney 说, Aki 的死因是摔倒后引起的脑出血。Aki 博士生前曾是该中心的主任。

在 Aki 博士跨越地球科学各个分支的研究生涯中, 他长期致力于应用定量分析方法来重新塑造地震学理论。

他以“地震矩”的概念而闻名于世, 那是他在 20 世纪 60 年代作为测量地震大小的方法而引入的。

在研究 1964 年发生在日本 Niigata 的大地震时, Aki 博士发明了一个计算方法, 考虑了断层面积、岩石刚度以及滑动距离。从此, 地震矩或由此引出的矩震级成为刻画地震大小的标准。

哥伦比亚大学 Lamont-Doherty 地球观察台的 Paul G. Richards 博士说: “从理解地震的物理过程而言, 他的研究涉及了地震学的每一个方面”。

20 世纪 70 年代, Aki 博士和其他科学家开始利用固定的和移动的地震网络, 在不同的大陆通过远震激发的地震波来研

究地球的深部构造。后来该领域不断完善, 即成为今天的地震层析成像。

1980 年, Aki 博士和 Paul G. Richards 博士出版了一套两卷的教科书“定量地震学: 理论与方法”。南加州大学的南加州地震中心主任 Thomas H. Jordan 博士说: “该书编纂了很多地震学理论方面的进展, 并成为地震学领域最常引用的文献”。Aki 博士 1984 年进入该大学执教并于 2004 年退休。

Aki 博士也是南加州地震中心的第一任主任, 于 20 世纪 90 年代利用他的专长来研究加州地震预测。他研究了南加州的断层系, 把加州当成一个研究大物理系统的天然实验室, 提出了著名的“主模型”(Master model)。

Aki 生于日本的 Yohohama, 他在东京大学完成学业并获得博士学位, 后于 1958 年在加州理工学院开始他的博士后研究。

他曾经在东京的地震研究所教学, 从 1966~1984 年在麻省理工学院任地球物理学教授。

去世前, Aki 博士正在 Réunion 岛研究火山地震学。

Aki 博士于 1980 年当选为美国地震学会主席, 他也是美国国家科学院和美国人文和自然科学院院士。

今年 (2005) 三月, 欧洲地球科学学会授予其 Gutenberg 奖章; 去年 (2004) 美国地球物理联合会授予其 Bowie 奖章, 这是该学会的最高荣誉。

引 言

这是 Keiiti Aki 在第 7 届非线性动力学和地震预测国际学术研讨会上演讲的讲义。该演讲在 2003 年 9~10 月间分多次进行。

由于这个演讲中涉及的概念是全新的，而且正在迅速地发展中，因此在行文时用的是一种非寻常的风格。本书的第一部分包括一些私人通信，它们对一些最新的结果作了说明；第二部分是作者在 IUGG 会上发表的论文概要，这次 IUGG 会于 2003 年 6~7 月间在日本札幌市召开。第三部分中则详细地阐明这一概念的起因，它取材自 2002 年间撰写的一本未发表的著作，名为“地震预测的地震学引论”。

致 谢

本书涉及的工作，部分得到日本地震预测发展协会（ADEP）的资助。作者深切地感谢 ADEP 的 Akio Takagi 博士的鼓励和 NIED/ADEP 的 Anshu Jin（金安蜀）博士在准备原稿时的协助。

目 录

中译本前言

引言

致谢

第一部分 私人通信

1.1	2003年5月15日 Kei Aki 致 V. I. Keilis-Borok 的信件	3
1.2	2003年5月26日 Kei Aki 致 V. I. Keilis-Borok 并抄送 Anshu Jin 的信件	7
1.3	2003年5月26日 Kei Aki 致 Anshu Jin 并抄送 V. I. Keilis-Borok 的信件	8
1.4	2003年5月26日 Anshu Jin 致 Kei Aki 的信件	9

第二部分 地震和火山前兆的新观点

2.1	引论和概要	13
2.2	Piton de la Fournaise 火山喷发的定量预测	15
2.3	板块驱动力导致的地震加载	20
2.4	地震断层滑移加载和板块驱动力加载的比较	25
2.5	脆-韧转换: M_c 的起源	27
2.6	讨论	29
2.7	附录: 自 1972 年以来 Piton de la Fournaise 火山的喷发历史	30
	参考文献	49

第三部分 地震预测的地震学概论

3.1	绪论	59
3.1.1	对单个地震断层的研究	59
3.1.2	地震的区域研究	65
3.1.3	个别地震研究和区域地震研究的统一	72
	参考文献	91
3.2	孕震结构和脆韧转换复合体	98
3.2.1	两个选择的内陆地震区	98
3.2.2	脆-韧转换复合体与尾波的新分析	107
3.2.3	与俯冲板块有关地区的孕震结构	110
	参考文献	111
3.3	从一个活火山学到的预测科学	114
3.3.1	构建 1998 年火山喷发前的初始模型	115

3.3.2	1998 年火山喷发中初始模型的运用和模型的重新修正	122
3.3.3	火山喷发历史循环的识别和基于最近的火山喷发观测资料对模型的进一步修正	126
	参考文献.....	132
3.4	从 Piton de la Fournaise 火山获得的经验在地震中的应用	135
3.4.1	尾波 Q^{-1} 和 $N(M_c)$ 之间观测关系的重新解释	135
3.4.2	地震和火山建模的相似性	141
	参考文献.....	143

第一部分 私人通信

这一部分包括几封信函，其一是 2003 年 5 月 15 日我给 V. I Keilis-Borok 的信，考虑到私人信件向公众公开，作了少量修改。在这封信里解释了我的演讲如何适应“非线性动力学和地震预测研讨会”的主旨。另外两封是给他和 Anshu Jin 的，这两封信中解释了我对地震预测的最新观点，没有图表和公式。

1.1 2003 年 5 月 15 日 Kei Aki 致 V. I. Keilis-Borok 的信件

亲爱的沃罗伽（译者注：沃罗伽 Volodya 是 V. I. Keilis-Borok 的爱称）：

我第一遍读完了您和 A. A. Soloviev 合编的新书《非线性动力学和地震预测》，在读到某些内容时，我不时停下来沉思，而有些内容则作了略读。您和您的同事们完善了基于地震目录的地震预测方法，正如 Jeffreys 和 Gutenberg 在经典地震学中所做的那样。给我印象深刻的是：用如此严格的方式评估，其概率增益竟达到 3~10。Molochan 撰写的第五章为地震预测提供了一个全面的框架，它将长期受到赞赏。我的目光更多地停留在那些内容上，它表达了您决心超出单独基于地震目录的方法，在物理学和地质学之间寻求一种更好的平衡。

我特别喜欢您在第一章第 34 页中的两行文字：“地球动力学和非线性动力学处于地震预测的宽广领域（expanse）里的两个相反的极端”。“expanse”这个词，据牛津词典，表示领域、地域、宽度、广度、绵亘、平原、原野等意思，而您的论述给了我一个关于地震预测研究前景的极其美好的展望。

您选择的是一种自然而直接的方式与地球动力学相联系，地球动力学是您在第三章和第六章中阐述的地块和断层系动力学。它使我想起美国加州大学 Santa Cruz 分校的 Steve Ward 的一组论文。他由于过分依赖地质学而受到地震物理学学者们苛刻的批评。他在其地震活动性模拟中采用了实际观测到的震源参数，如成核区尺度和次级事件的尺度作为模型参数。我曾经支持过他，但是现在我觉得，按照地球动力学的观点，他在模拟中，仅按照地质学中断层的滑移历史而分配给每个断层段的加载，可能是不切实际的。而您著作的第三章中采取的方法，有可能解决这个难题。

对于地球动力学家来说，由大尺度的界面分割的地球块体内部，地球的性质是平滑变化的。绝大多数地震学家属于这个“平滑地球俱乐部”，这是因为一旦你开始采用平滑地球模型，在你的模型中就不必加进小尺度的非均匀性。Sato 和 Fehler 在其新著（1998, Seismic Wave Propagation and Scattering in the Heterogeneous Earth, Springer-Verlag, New York, 308pp）中，恰当地简述了这样的思路：接受岩石圈内小尺度地震活动性的非均匀性，就需要在其数据库中接受尾波的数据。正有越来越多的地震学家接受这个观点，这些人组成了“粗糙地球俱乐部”。您在书中第二章强调岩石圈具有分层次的非均匀性，由此判断您也是“粗糙地球俱乐部”的一员。

在我的脑海中，尾波是连接地球动力学与非线性动力学的中心，尽管尾波的概念起源于分形介质，就像 Q 值是连续介质力学的概念一样，尾波的 Q 值也是连续介质的概念。对我来说，所观测到的相关性，是连接地球动力学和岩石圈非线性动力学的基本根据。我指的是尾波 Q 值的倒数 Q^{-1} 随时间的变化和 $N(M_c)$ 之间的相关性。 $N(M_c)$ 是

分形低限震级 M_c 的地震频度。

让我从圣安德列斯断层上从蠕滑区到 Parkfield 这一段开始, 由于它靠近 Menlo Park (译者注: 美国地质调查局所在地) 和 Stanford (译者注: 斯坦福大学所在地), 这一段在地震学和地球动力学方面, 大概是全球研究得最仔细的断层段。我对蠕滑区特别感兴趣, 因为它可以看成是已发掘的“脆-韧转换区”, 我还认为那里存在着地球动力学和非线性动力学的交叉点。

该处的无震蠕滑是在 1956 年研究 Cienega Winery 的建筑损坏时发现的。从 1958 年起 Don Tocher 在该地进行了连续的蠕滑测量, 测量的结果由 Burford 作了总结 (1988, PAGEOPH, 126, 499~530)。典型的蠕滑记录包括一系列所谓的“蠕滑事件”, 每一个“蠕滑事件”为 1mm 量级的台阶式蠕滑, 尽管幅度超过 10mm 的偶发事件也曾发生过。我曾经量过 Burford 发表的蠕滑记录图中三个地点 (CWC3、CWN1 和 XMR1) 的台阶幅度, 这些幅度的分布很好地符合高斯分布, 而明显地偏离幂律, 这支持蠕滑事件的非分维性质。很好地符合高斯分布意味着平均特征蠕滑量的存在, 因而同时意味存在着蠕滑断层区韧性部分蠕滑断裂的平均尺度。

众所周知, 在蠕滑区里会发生地震。这些地震发生在蠕滑区的相对高速部分 (根据当地的地震层析成像结果), 其最大震级为 5 级左右。在此我设想岩石圈的脆性部分与其韧性部分垂直地相接触, 其韧性部分变形或多或少是连续地发生, 但却是离散事件。这正是我所设想的在水平脆-韧转换区的情形。设想蠕滑区对脆性部分加载, 从而引发地震, 如同在我未出版的那本书中所述的那样 (译者注: 指本书第三部分)。在通常的转换区, 典型地, 对于 $M=7$ 的地震, 其蠕滑破裂区的尺度约为几百米。由于最大震级为 5 的地震的破裂尺度是几千米, 根据地震尺度与蠕滑断层尺度之间的关系推断: 圣安德列斯断层上蠕滑区中的蠕滑破裂的尺度大约为几十米。所观测到的幅度为 1mm 的蠕滑事件的尺度与这个尺度是相适应的, 尽管我们还不知道地表上测得的蠕滑幅度和蠕滑断裂源的滑动量之间的关系。

尾波 Q 值随时间的变化首先是 Chouet 在蠕滑区的 Stone 峡谷观测到的 (1979, Geophys. Res. Lett, 6, 143~146)。不像其他地区那样, 最大的变化发生在几赫兹的频带, 其变化的时间尺度是几年, Chouet 观测到的变化非常快 (大约在一个月内), 而且最大的变化发生在最高的频带上 (24Hz)。回头再看 Chouet 在 MIT (麻省理工学院) 的博士论文, 我发现尾波 Q 值减小的出现与 2 级左右地震的频度增加是同时发生的。按照我的观点, 这种变化表示常态的加载过程。事实上, 在他的研究时段内, 该区域内没有显著的较大的地震。我现在认为在圣安德列斯断层蠕滑区观测到的一切现象可以作为发生在岩石圈脆-韧转换带上板块驱动力加载过程的缩小模型。

现在让我们把视线转移到 Parkfield 段。所观测到的直到 1966 年为止的近乎周期性的特征地震, 可以解释为由于蠕滑段的滑移而引起的在 Middle Mountain 障碍体上的稳态应力积累。我们可以认为 Parkfield 实验场的理论基础是以断层为研究对象的地球动力学方法。从您整体的鲁棒非线性动力学方法角度出发, 它的失败是不足为奇的。然而, 我从自己在火山研究中认识到: 放弃 Parkfield 实验是由于“双重错误”导致的失败。正如 Aki 和 Ferrazzini 在其论文中 (2000, J. Geophys. Res, 105, 16617~16640) 详细阐明的那样, 我们发现: 火山喷发前兆震群的持续时间和 1985~1998 年间多次喷

发中喷发地点的升高之间，存在着系统的相关性。这种经验关系，对于 20 世纪末 1998 年的最大喷发事件却失效了。但这种关系对于 2000 年年中到现在的火山喷发又是适用的。我能够用岩浆囊系状态的近周期性改变来解释所有这些观测结果。而岩浆囊系的状态，是由所谓的长周期事件（Long-Period，以下简称为 LP）的波形相干性来约束的。如果我没有这种模型，也不知道它的状态近周期性变化，我准会因为 1998 年的失败而把这种经验关系扔掉（尽管这种关系在 2000 年后又变得正确起来），从而犯“双重错误”。我相信：在单单依靠经验数据的地震预报研究中，充满了这种双重错误。断层系的状态也会变化，而且这种变化可能由现有的台站来监测。例如，Segall 和 Du（1993，*J. Geophys. Res.*, 98, 4527~4538）发现：1966 年 Parkfield 地震的破裂可能和前几次地震的破裂不一样，它穿破了断层段南端的障碍物，从而肯定会改变地震序列的复发间隔，我觉得将模拟和监测紧密结合，也许有可能拯救单纯的地球动力学方法。具体地说，用模型代表断层系的外观，而其参数则由连续观测得到的数据来约束。您的方法中，除了地震目录以外，至今还没有包含这样的数据，由此我看出了您我方法之间存在的差异。关于模拟和监测的结合问题，在前面提到过我的那本未出版的书的第三章，曾经以此为主题，用一个在相对独立的构造环境里的火山岩浆囊系作为例子进行过讨论。

从我研究火山的经验中发现：存在两类不同的数据：一种数据是用来建造模型的，但对于实际的经验预测却是没用的；另一种数据，对于实际预测有用，却在约束模型时用不上。对于火山预测，前者是 LP 事件，它和岩浆囊中的流体有关；而后者来自脆性部分，例如前面提到的震群。如同在脆-韧转换区板块驱动力的加载过程中看到的那样，这里我看到了连续介质地球动力学和非线性动力学的分形问题之间的连接点。从这个最基本的观点来看，火山预测和地震预测科学是非常相似的，而且它们可以互相借鉴。由于火山问题转换带的位置较浅，因此研究起来比较容易。这就是我对您在 34 页中的观点特别满意的原因（译者注：指 Keilis Borok 等编的 *Nonlinear Dynamics of the Lithosphere and Earthquake Prediction* 的 34 页，该页中的一个小标题是“为什么我们期待不同领域前兆现象之间的联系”）。

在您的大作第四章中（译者注：该书第四章的标题是“地震预报”），我对 B 图像（余震喷发）的性质很感兴趣（我仍然记得 20 世纪 70 年代末期在 Florida 召开的一次美国地球物理学会会议上，您发言后公开地问我这种前兆的原因是什么。我至今仍然不知道这个问题的答案）。B 图像的性质是：在时间尺度上，它比其他前兆都要短。这和我在火山研究中的震群前兆相似，也和所谓的“前震”的性质相仿。现在我觉得这类现象是岩石圈脆性部分所特有的。它们在构建模型时派不上用场（这可能正是我至今找不到您关于 B 图像问题答案的原因所在），但是在经验性的预报中却是有用的。我相信，识别这两类数据：一种用于构建模型，另一种用于经验性的实际预测，这样一来可能会解决我们在地震和火山预测研究中碰到的很多问题。

正如我在早先给您的电子邮件中所说过的，我觉得：在正常期间，脆-韧转换区板块驱动力的加载过程比脆性部分的非线性动力过程更线性、更平稳，也更容易预测。在我那本未出版的书第四章（其部分内容包含在本书的第三章中）里所讨论的内容（即尾波 Q^{-1} 和 $N(M_c)$ 的正相关）使我想起了在线性稳态不可逆热力学中推导 Onsager 互易定理时用到的微观可逆性。例如在普利高津的第 IV 章中（1967，不可逆过程热力学引

论，第三版，John Wiley & Sons 出版公司的分部 Interscience Publishers，纽约-伦敦-悉尼出版），从合成过程微观可逆性出发，在线性假设下推导的广义的流与力的定理（由式 4.46 表示）。该式表示：合成过程的不同涨落间具有相关函数，对于时移它们是偶函数。这和我们观测到的尾波 Q^{-1} 和 $N(M_c)$ 随时间的变化是一模一样的。我曾经在我的一篇很早的论文中（用日文发表）应用 Onsager 定理研究岩浆从上地幔集中到火山的过程，但我一直想知道物理学家是如何将它推广到非线性的情况的。

昨天，我看了我过去的日记，是 1995 年关于地震预测的 Irvine 讨论会上我们在餐桌上谈话的日记。我惊奇地发现：您当时告诉我，您对火山问题感兴趣是由于其非线性过程，而我告诉您，为了预测火山喷发我更把注意力集中在它的线性部分。在 Aki 和 Ferrazzini 的论文中（2001, J. Geophys. Res., 105, 16617~16640），我们在比较 La Reunion、Kilauea 和 Mount Etna 三座火山喷发历史的基础上尝试进行数值模拟。现在我已接近完成我的火山喷发历史的研究，从 1972 年起，共喷发 49 次。利用在本书第二、三部分中所阐述的模型，我能定量地预测喷发的时间、岩浆总量和未来十年的喷发模式。现在我正在打算对 Kilauea 火山进行类似的研究，这个火山在 LP 事件和脆性事件两方面的规模都大得多，而且在复杂性方面更和地震预报相近。

感谢您耐心地读完这封长信。我很乐意您把它转给任何感兴趣的人。

忠实于您的
Kei Aki

1.2 2003年5月26日 Kei Aki 致 V. I. Keilis-Borok 并抄送 Anshu Jin 的信件

亲爱的沃罗伽：

我希望您此刻已经收到 Anshu 的图件。此图件是 1990~2000 年间中加州的 Coda Q^{-1} 和 $N(M_c)$ 之间的互相关曲线，它是利用刘先生的数据计算得到的，看来它很重要。相关系数的最大值大于 0.6，而 $N(M_c)$ 比 Coda Q^{-1} 要滞后 3 年，换句话说，这段时间和正常时段的主要差别在于这两个时间序列间有限的时移 (time shift)，而正常时段的相关系数的峰值出现在零时移。而现在相关不是同步发生的，我看了 Anshu 的图中的时间序列，它明确显示 $N(M_c)$ 超前于而不是滞后于尾波 Q^{-1} 。我也将此信发给 Anshu 并请她核查。按照您的建议，我比较了 Kern County 地震和 Loma Prieta 地震的新结果，发现对于三个震例 $N(M_c)$ 都超前于尾波 Q^{-1} 的变化。Landers 地震有限的的数据似乎也表现出同样的结论。这符合我的观点，我的观点是：韧性层的加载过程受到脆性层某些变化的影响。但是 Kern County 地震和 Loma Prieta 地震的滞后时间都是 1 年，显然比中加州现在的情形短得多。按照自相似的观点，这可能意味着现在在中加州正在孕育着一个更大的地震。当然，从地球动力学的观点看，它可能意味着该处岩石圈力学性质的差异。事实上 Tsukuda 研究过的 1983 年的 Misasa 震例 (1988, PAGEOPH, 128, 261~280)，其震级 M 仅为 6.2，而其滞后时间为 2~3 年。我想请 Aushu 计算 Kern County 和 Loma Prieta 地震的互相关函数 (已在本书第二部分给出)。

无论如何，我认为：相关性降低可能就是尾波 Q^{-1} 滞后于 $N(M_c)$ 。如果别的震例也证实这个简单的观测结果，那就准有一个简单的解释。从这个观点看，地震预测也许比我们想象得简单。

昨天我收到了 Giargi 教授的正式邀请信，邀请我参加从 9 月 29 日~10 月 11 日的 Trieste 会。他要求我提前提供讲稿。我自然就想到我那本名为“地震预测地震学引论”的没有出版过的书，书中的某些部分可以用作讲稿。我怕它太长了，但您 5 月 21 日的信中说，这不成问题。我打算在讲稿里附上我在 5 月 15 日给您的信以及我打算在今年 7 月份在 IUGG 会上报告的一篇论文。

剩下的问题是书中的大部分图件需要再加工，这需要 Aushu 的帮助。我将把这封信复制给她，以便询问其可能性。

致以最良好的问候！

Kei Aki