



藤田英輔（ふじた えいすけ），1967年岛根县出生。理学博士。防灾科学技术研究所火山防灾研究室主任研究员，火山研究推进中心副中心长，东北大学客座副教授，山梨大学富士山科学研究所特别客座研究员。1993年东京大学研究生院理学系研究课硕士毕业，同年入职防灾科学技术研究所。入所以来，主要从事基于火山观测网观测数据的解析、数值模拟等的火山喷发机理的相关研究。近年来，在特别关注地震与火山连通性评价、地下岩浆移动现象解析的同时，努力强化与欧美、亚洲各国的火山研究同行的合作。

日本活动火山监测与减灾

藤田英輔

前言

日本位于欧亚板块之上，由于长期受太平洋板块和菲律宾海板块的俯冲作用，形成了111座活火山，这些火山是环太平洋火山带的重要组成部分（图1）。虽然这些火山时常威胁人类的生命和财产，但同时也为我们带来了更多的财富。

在日本历史上，共有30多次火山喷发造成了人类伤亡，其中造成伤亡人数最多的火山喷发记录是1792年的云仙岳火山喷发，引发的海啸造成了大约15000人死亡。富士山最近的一次火山喷发发生在日本宝永四年（1707年），因此被称为“宝永大喷发”。“宝永大喷发”的喷发模式属于普林尼式喷发，喷发物体积达到7亿立方米，覆盖了整个关东地区，其中江户（东京的旧称）被厚达5cm的火山灰所覆盖。另一次灾难性的火山喷

发为1783年的阿萨马火山喷发，该火山位于东京北部，火山喷发形成的火山碎屑流造成了约1400人死亡，且此次火山喷发使关东北部地区长期遭受火山泥石流灾害。

因此，研究火山灾害防御对人类生命和财产安全具有重要意义，我们需要从科学研究和政策制定方面付出更多努力来减少火山灾害。

火山灾害防御对策

根据《灾害防御对策基本法》，内阁府制定了火山灾害防御机构系统（图2）。此外，《活火山特别措施法》规定了活火山附近的人类、生命和工业的评估与规划程序。活火山附近的地方政府部门在安全时期和危机时期都必须严格执行当地的灾害防御对策。

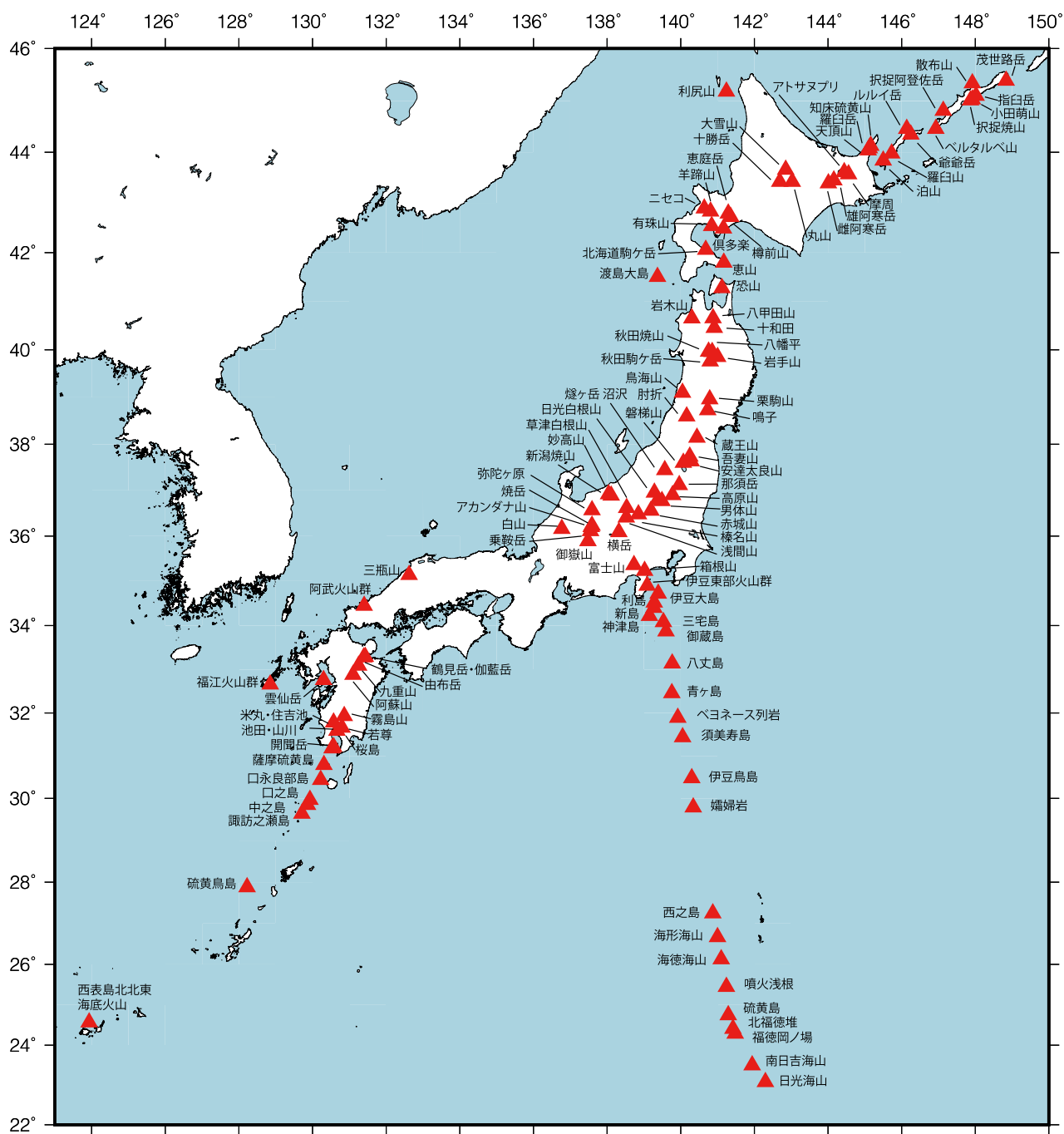


图1 日本火山分布图

与其他自然灾害相比，火山灾害类型多样。因此，制定火山灾害区划图非常复杂。在火山口附近，主要的火山灾害类型为火山抛射物和火山气体；在火山侧翼上，主要的火山灾害类型为火山碎屑流、涌浪、爆炸冲击波和熔岩流。火山灰是影响范围最广的喷出物，对于全球气候影响巨大；泥石流是影响时间最长的火山灾害，在火山喷发很久后仍可形成。

火山灾害区划图是在内阁办公室的指导下，通过对各种火山灾害，包括火山灰、火山碎屑流、熔岩流和火山抛射物等分析研究后制定出来的。火山灾害区划图根据其制作方式可以分为两大类：一类是经验图，即根据历史喷发研究和记录制定的火山灾害区划图；另一类是使用数值模拟生成的灾害区划图。火山灾害范围主要由火山喷发规模决定，数值

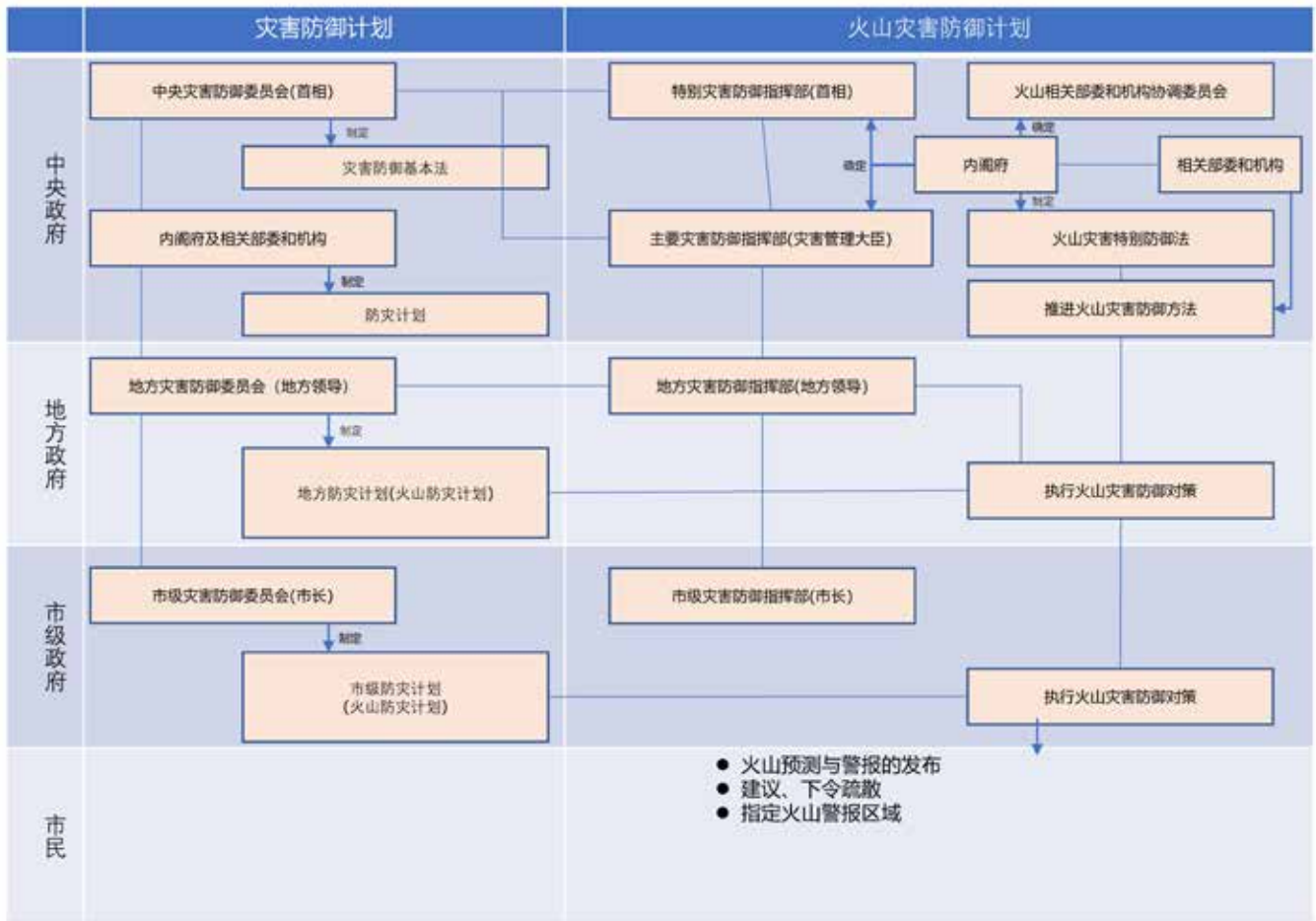


图2 日本火山灾害防御机构图

模拟制定火山灾害区划图的喷发参数都在相关文件中有明确规定。

在吸取了 2014 箱根火山喷发的教训后，日本的 50 座实在线监测火山都成立了“火山防灾委员会”（详见“日本最近的火山灾害”）。火山防灾委员会主要负责制定火山灾害区划图、火山预警等级和疏散计划，主要由县 / 市政当局、民防当局、警察、消防部分、救援公司和火山学家组成。

为了应对由火山喷发引起的泥石流，国土交通省制定了“火山灾害应急对策”，主要为火山灾害防御提供硬件设施（如泥石流坝）和软件设施（如实时灾害图）。

火山监测与预警

从 100 多年前开始，火山学家开始利用机械传感器监测火山，特别是地震观测技术的应用，使火山监测与预警能力大幅提高。日本的第一次火山地震记录是 1888 年发生的磐

梯山扇形崩塌。在火山区，地震仪可以监测到地下岩浆迁移产生的各种类型的地震波。火山构造地震（VT）形成的地震波形具有很清晰的 P 波和 S 波，但其震级比普通地震小。火山区地震仪时常会监测到长周期事件（LP），可能与地下流体或岩浆的迁移有关。另外，火山颤震等长周期特征事件也可能与地下流体迁移过程有关，特别是火山浅部流体的迁移。

地表形变观测是火山监测重要手段之一，对短期和长期的地下岩浆活动监测更灵敏。地表形变观测一般使用水平仪、应变仪和全球定位系统（GNSS）连续观测火山的地表形变状态，这些技术已非常成熟，并多次成功的预测了火山喷发。

日本气象厅（JMA）负责监测和发布日本火山危险警报。气象厅负责全国 50 座重要的活火山的监测网络，这些监测网络通常装备有地震仪、水平仪、应变仪、次声和可视摄像机，这些监测数据全年 24 小时不断的实时传输到气象厅的四个火山观测站和预警中心。同时，大学研究人员会根据研究项目布设监测网络，这些研究数据也会传输到日本气象厅监测

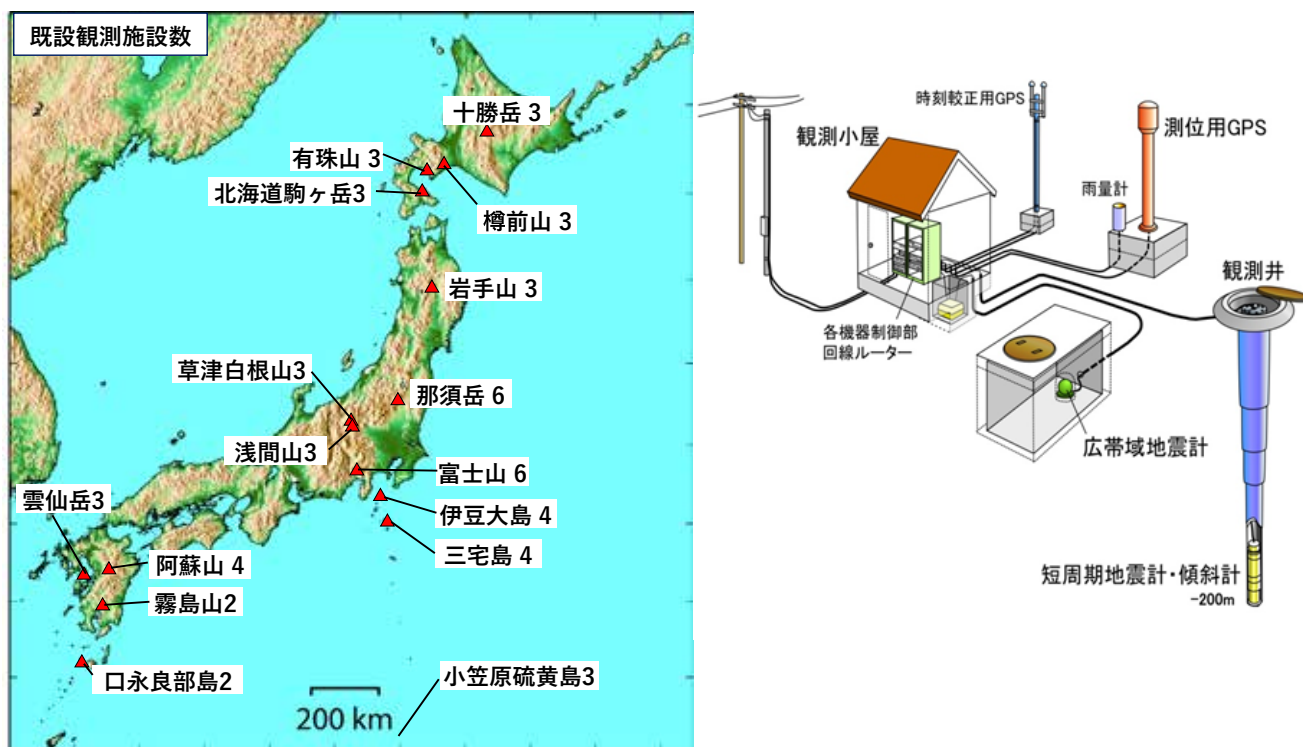


图3 日本火山监测系统里的16座火山分布图和火山监测系统的主要设备

系统。国立地球科学和防灾研究所为全国 16 座火山建立了“火山监测系统”，主要设备为钻孔型高灵敏度地震仪和水平仪、宽频地震仪和全球定位系统（GNSS）（图 3）。日本地理空间信息管理局负责的“地理信息网络”系统中的 1300 个 GNSS 台站数据也被应用于火山活动监测与评估。

火山警报一般由日本气象厅的火山观测与预警中心根据监测数据发布，然后通过媒体和当地相关部门通知到本地居民。火山警报信息通常包括“火山警报”和“警报级别”信息。根据火山危险区域的不同，“火山警报”分为“预测”“警告”“紧急警告”三种类型。“火山警报级别”根据预先制订的疏散计划分为五个等级，分别为：等级 1：火山活性增加；等级 2：远离火山口；等级 3：远离火山；等级 4：准备撤离；等级 5：迅速撤离。

火山爆发预测协调委员会（CCPVE，秘书处位于日本气象厅）是日本气象厅的顾问委员会，每 4 个月举行一次，主要成员包括大学和研究机构的教授和相关部委的专业人员。根据火山爆发预测协调委员会的讨论结果，日本气象厅通常会发布新闻发布会，例如发布正在进行的火山喷发活动情况。然后，地方政府市长会根据日本气象厅的火山灾害评估结果判断是否进行紧急疏散。

日本最近的火山灾害

通常情况下，我们的火山监测网络能够监测到火山下部的异常信号，并多次成功发布预警信息以减少灾害。然而，确实发生过很多次我们未成功预测的火山喷发，尤其是小型射汽喷发活动。在此，我们总结了日本最近的一些火山喷发事件。

2011—2018 年新燃岳和雾岛山喷发

新燃岳和雾岛火山位于日本九州南部，自 2011 年来发生过多次间歇性火山喷发（图 4）。其中 2011 年的火山喷发是过去 300 年来的第一次岩浆喷发，其喷发物体积约为 $2.1 \times 10^7 \sim 2.7 \times 10^7 \text{m}^3$ ，火山爆发指数（VEI）为 3。在主火山喷发前，发生了多次小规模喷发活动，而在 1 月 26 日剧烈的次布里尼式火山喷发后，火口顶部形成了熔岩穹隆，并引发多次不连续的火山喷发，并持续了约 3 个月。2012—2016 年发生过多次火山地震群，并且 GNSS 数据显示深度为 8km 的岩浆房从 2014 年开始再次膨胀。从 2017 年 9 月 23 日开始，火山地震活动迅速增强，日本气象局在 10 月 5 日将火山警戒等级从 I 提高到 II。随后，在 10 月 11 日发生

了小规模火山喷发并一直持续到17日。在2018年3月17日，火山地震活动再次增强，在火山口顶部形成熔岩薄饼，之后也发生过多间歇性小规模喷发。在新燃岳火山活动期间，岩浆房的收缩和扩张都可以通过地表形变数据和地震活动观测到，火山喷出的火山灰覆盖了周边地区，对农业等行业造成了巨大的损失。

2014年箱根火山喷发

2014年的箱根火山喷发为射汽喷发，但由于发生在周六中午，很多登山人员在山顶，导致58人不幸遇难且5人失踪。在火山喷发前大约15天，也就是9月10日和11日，这里有地震群记录，但是自1979年最后一次射汽喷发以来，这种规模的地震群活动时常出现。因此，9月11日出现的地震群很难确定为火山喷发前兆，所以没有提前提高火山警戒等级。在火山喷发之后，详细的数据分析显示在喷发前的11分钟有一个前兆地震群，且喷发前7分钟出现了明显的地表快速膨胀形变。

2018年草津白根火山喷发

草津白根火山位于东京北部150km，是一座复式火山，主要由白根山、逢之峰、本白根山组成。1805年之后的火山喷发都发生在白根山火山口附近，且主要为射汽喷发。火山监测数据显示汤釜火山口和本白根山下部的浅层热液系统出现膨胀，使火山警戒等级提高。2018年1月23日，

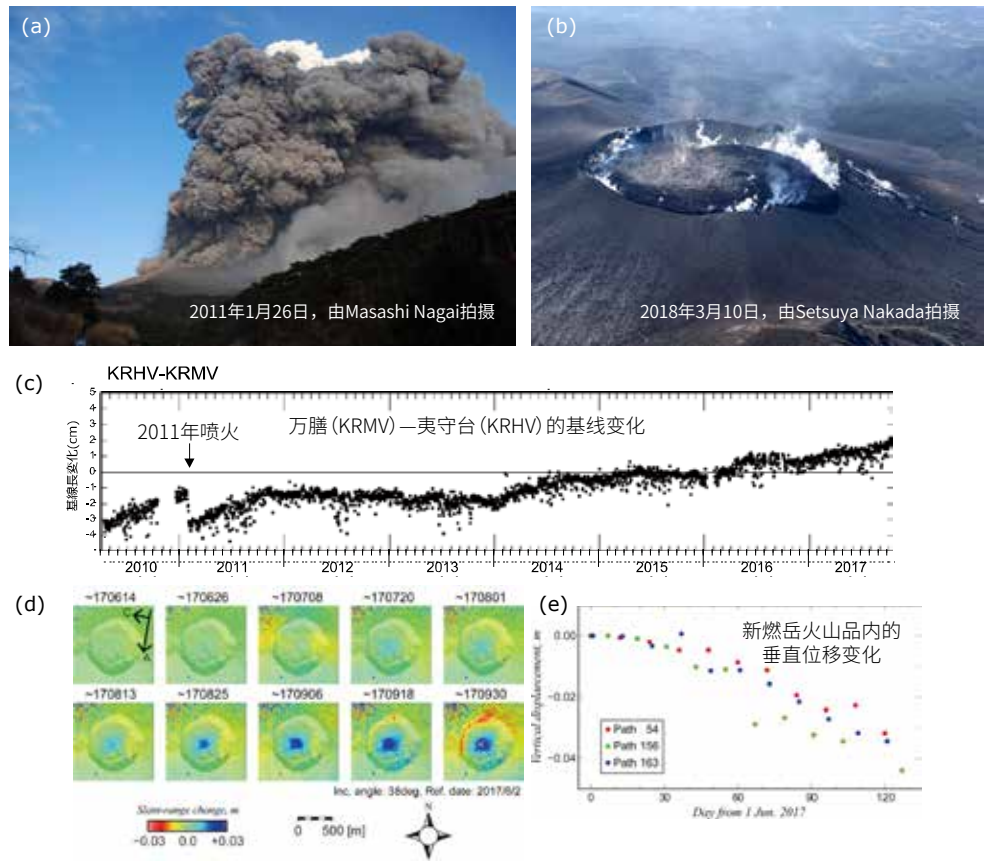


图4 新燃岳火山喷发

(a) 2011年喷发；(b) 2018年火山喷发在火山口顶部形成的薄饼状熔岩；(c) 近8年的基线变化图；(d) 火山口内薄饼状熔岩的InSAR分析研究；(e) 薄饼状熔岩上固定点的垂直位移变化

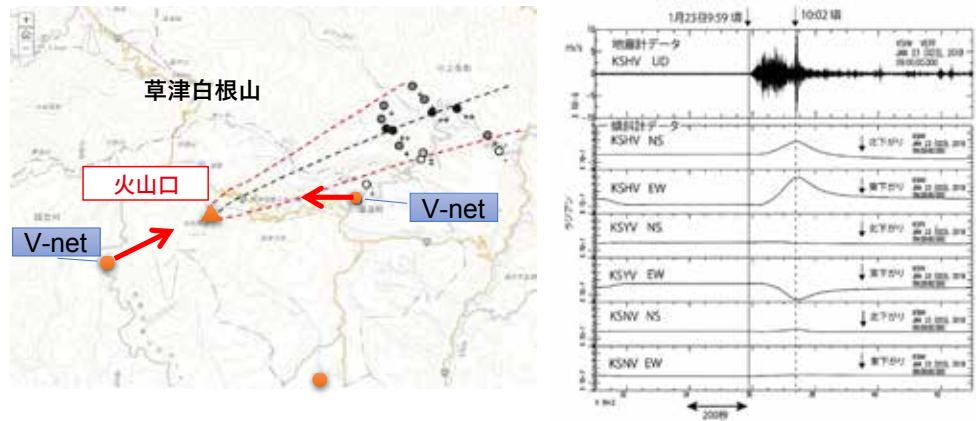


图5 2018年1月23日草津白根火山射汽喷发，由V-网络记录的地震与水平位移变化前兆现象。红色箭头表示喷发前的倾斜方向。红色虚线表示火山灰覆盖边界，黑色虚线为火山灰分布中心轴

距离汤釜火山口约2km处的本白根火山口发生了小规模射汽喷发，本次火山喷发也未成功预测，造成一人死亡。本次火山喷发前3分钟，地震仪和水平仪显示岩浆房出现膨胀(图5)。

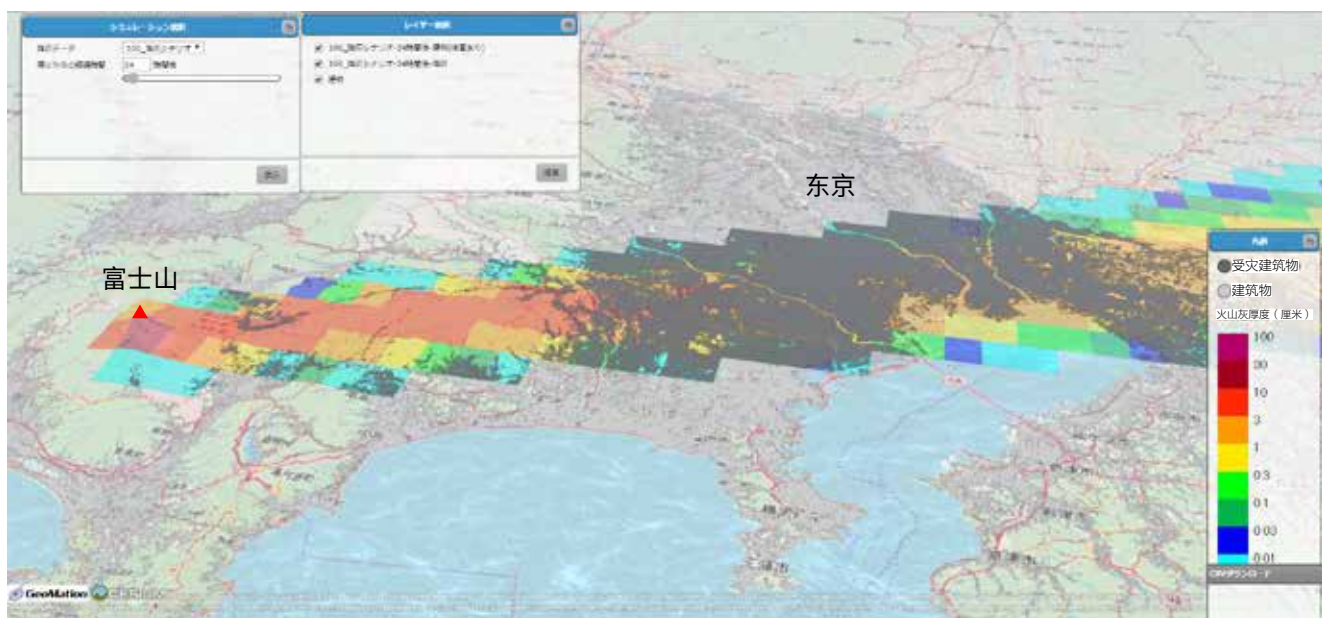


图6 若富士山发生类似于“宝永大喷发”规模的火山喷发，对东京都区域的火山灰灾害区划图。深灰色符号表示火山灰覆盖的建筑物区域，浅灰色符号表示喷发后24小时内无火山灰沉降区域

总结与下一步计划

火山监测与数据分析是判断火山活动性的最基本方法，只有不断努力，研究火山喷发前兆异常信号，才能降低火山喷发造成的灾害。此外，提高火山监测软件和硬件技术对于火山灾害防御也具有重要意义，例如从工程技术的角度来减少泥石流灾害。然而，自然灾害的复杂程度远超我们现在的认知，还有很多问题需要我们不断研究。

东京都地区的火山灰沉降对策

富士山位于东京以西约100km处，一旦发生类似于1707年“宝永大喷发”规模的火山喷发，东京都地区将会被几厘米深的火山灰覆盖（图6）。对此，政府已开始研究更加切实可行的疏散、后勤保障和除灰对策。

小规模射汽喷发监测

根据2014年的箱根火山喷发和2018年的草津白根山喷发记录，小型的射汽喷发也会出现一些前兆现象，虽然这些异常信号非常微弱且只出现在喷发前数分钟内。因此，很有必要在火山口附近区域建立密集的监测网络来发现喷发前的微小信号，并通过实时预警系统通知疏散。

超级火山喷发监测

超级火山喷发是指超大规模的火山喷发，一般会形成破

火山口，是火山灾害监测的重要对象之一。在日本九州地区，分布众多破火山口。日本阿苏山破火山口是世界上最大的破火山口之一，其南北长约25km，东西长约18km，由27万年前至9万年前的四次大规模火山喷发形成。日本始良火山口直径约为20km，由2万9千年前的大规模喷发形成。此后，从2万6千年前开始，沿着始良火山口周围形成樱岛火山。日本的鬼界破火山口位于九州岛的南部，形成于约7300年前，是日本最新形成的破火山口。因此，对于超级火山喷发，火山学家只能从地质证据来研究火山口的形成过程，而无法研究超级火山喷发的前兆现象及其前兆时间。目前，虽然有火山学家提出了一些破火山口形成的理论模型，但这些理论模型仍具有较大的争议。

日本境内分布着111座活火山，虽然它们为我们人类提供了众多火山财富，但火山监测和灾害防御仍任重道远，希望我们未来能尽量减少火山喷发造成的灾害。

致谢

衷心感谢 Setsuya Nakada, Taku Ozawa, Hideki Ueda, Masashi Nagai 及 Yuhki Kohno 和日本国立地球化学与防灾研究所为本文提供照片和插图。

本文为“火山资源与灾害”专刊特约撰稿，由中国地震局地质研究所魏费翔博士翻译