



Kuva 1. Purkautuva Sakurajiman tulivuori taka-alalla, Kagoshiman kaupunki etualalla. Kuva otettu Shiroyaman puistosta.

Figure 1. Sakurajima volcano erupting in the background, Kagoshima city in the foreground. Photo taken from Shiroyama park.

Sakurajima – yksi maapallon aktiivisimmista tulivuorista

JUSSI S. HEINONEN JA ELINA LEHTONEN

Oletko aina halunnut nähdä tulivuorenpurkauksen omin silmin? Monelle tulevat luultavasti ensimmäisinä mieleen Italian Stromboli tai Islannin tai Havaijin tulivuoret. Islannin purkauksia on kuitenkin vaikea ennustaa ja matkalle tulisi oike-

astaa lähteä purkauksen jo alettua – jos paikalliset viranomaiset sen sallivat. Jo pitkään jatkuneissa purkauksissa Havaijin Kilauealla ja Strombolilla pääsee hyvällä tuurilla ihailemaan rauhallista laavan virtausta aivan lähietäisyydeltä, mutta räjähtämällä purkautuvista tulivuorista yksi on nähtävyytenä ylitse muiden –

Sakurajima-tulivuori Kyushun saarella, eteläisessä Japanissa (kuva 1).

Tulivuori kaupunkien ja meren syleilyssä

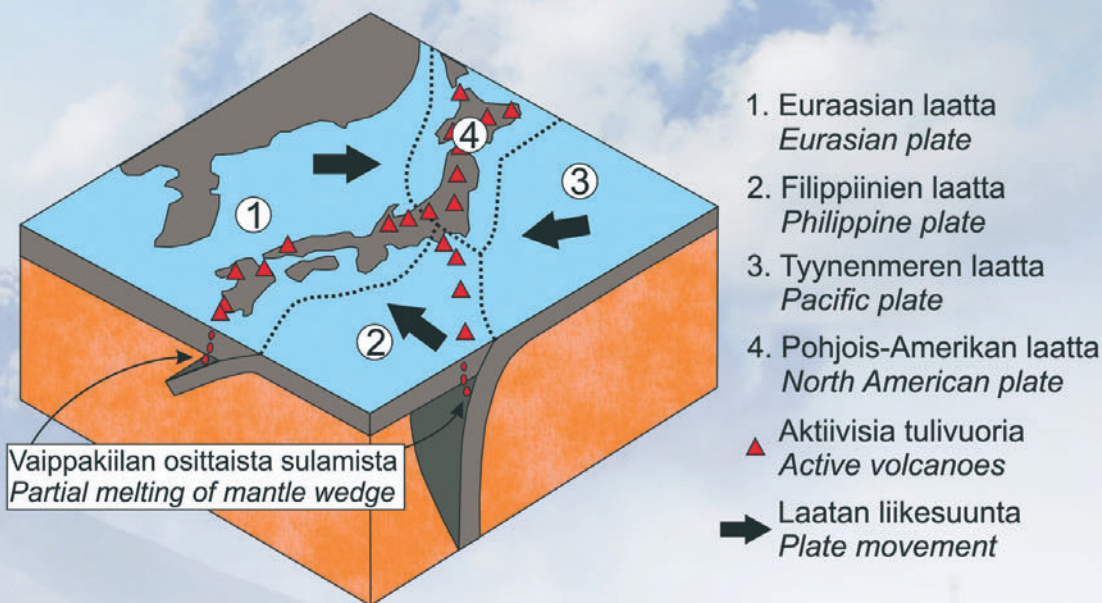
Japanin saariryhmästä tunnetaan lukemattomia aktiivisia ja jo sammuneita tulivuoria, jotka ovat syntyneet Tyynenmeren laatan ja siihen liittyvien pienempien laattojen sukeltaessa subduktiovyöhykkeessä Euraasian ja Pohjois-Amerikan mannerlaattojen alle (kuva 2). Useasta vierekkäisestä tulivuoresta koostuva komposiittitulivuori Sakurajima sijaitsee Kagoshimanlahdessa Japanin saariryhmän eteläisimmän pääsaaren Kyushun eteläkärjessä (kuva 3). Yli 1100 metriä korkea Sakurajima oli aikaisemmin oma saarensa, mutta se kasvoi lähihistorian suurimmassa purkauksessaan 1914 itärannaltaan kiinni Kyushun saareen (kuva 3b). Kagoshimanlahden pohjukkaa ja Saku-

rajimaa ympäröi asutus, joka on keskittynyt neljään Japanin mittakaavassa pienehköön kaupunkiin: Kagoshima (600 000 asukasta), Kirishima (130 000), Aira (75 000) ja Tarumizu (20 000) (kuva 3b).

Sakurajiman historia ja nykyinen aktiivisuus

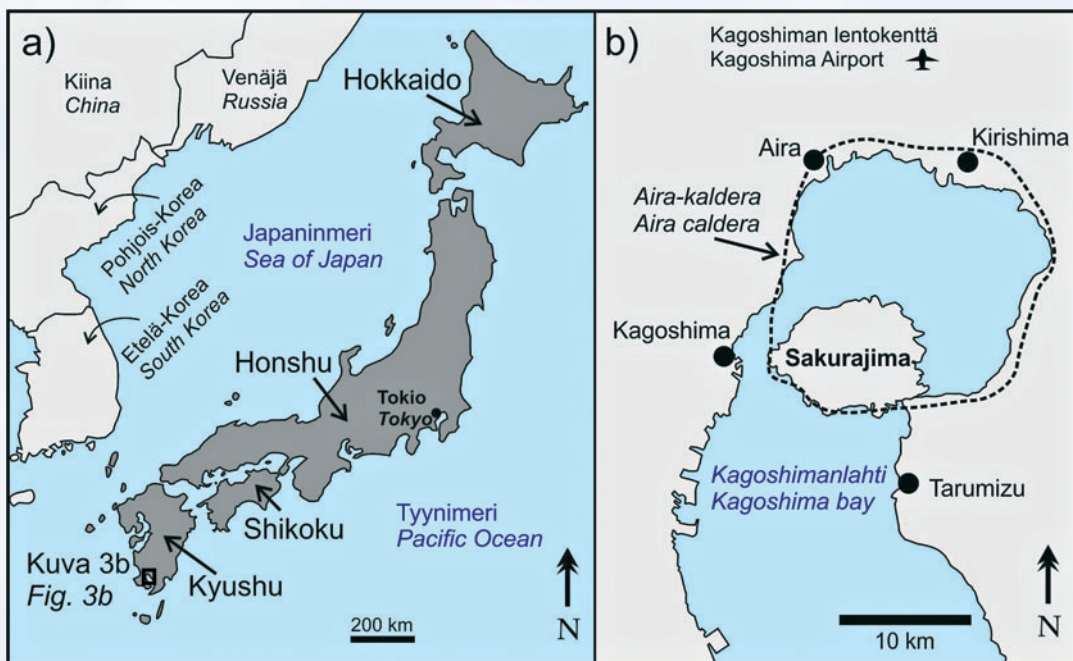
Sakurajiman tulivuori sijaitsee Aira-kalderassa, joka muodostui valtavassa räjähdyspurkauksessa noin 22 000 vuotta sitten. Nykyisen Kagoshimanlahden pohjukan ääriiviivat seurailevat Airan kalderan reunoja (kuva 3b). Alueen vulkaaninen aktiivisuus ei kuitenkaan päättynyt kalderan muodostumiseen, vaan Sakurajima alkoi kasvaa kalderan eteläosista noin 13 000 vuotta sitten, vähän samaan tapaan kuin Anak Krakatau -tulivuori on muodostunut Krakataun kalderaan Indonesiassa.

Sakurajima on ollut historiallisella ajalla

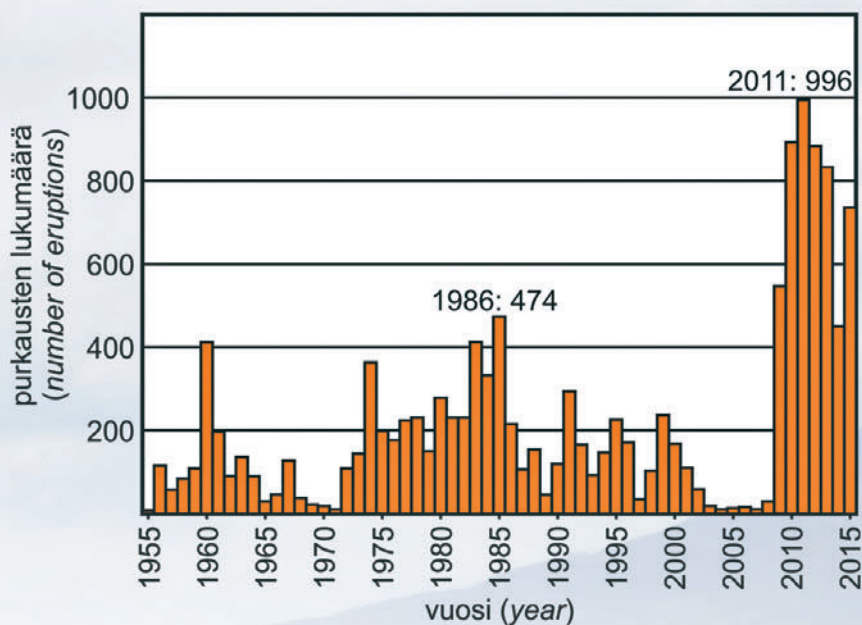


Kuva 2. Mannerlaattojen konfiguraatio ja liikesuunnat (Pohjois-Amerikan laatan suhteen) Japanin lähialueilla. Kuva muokattu Tokain yliopiston materiaalien mukaan.

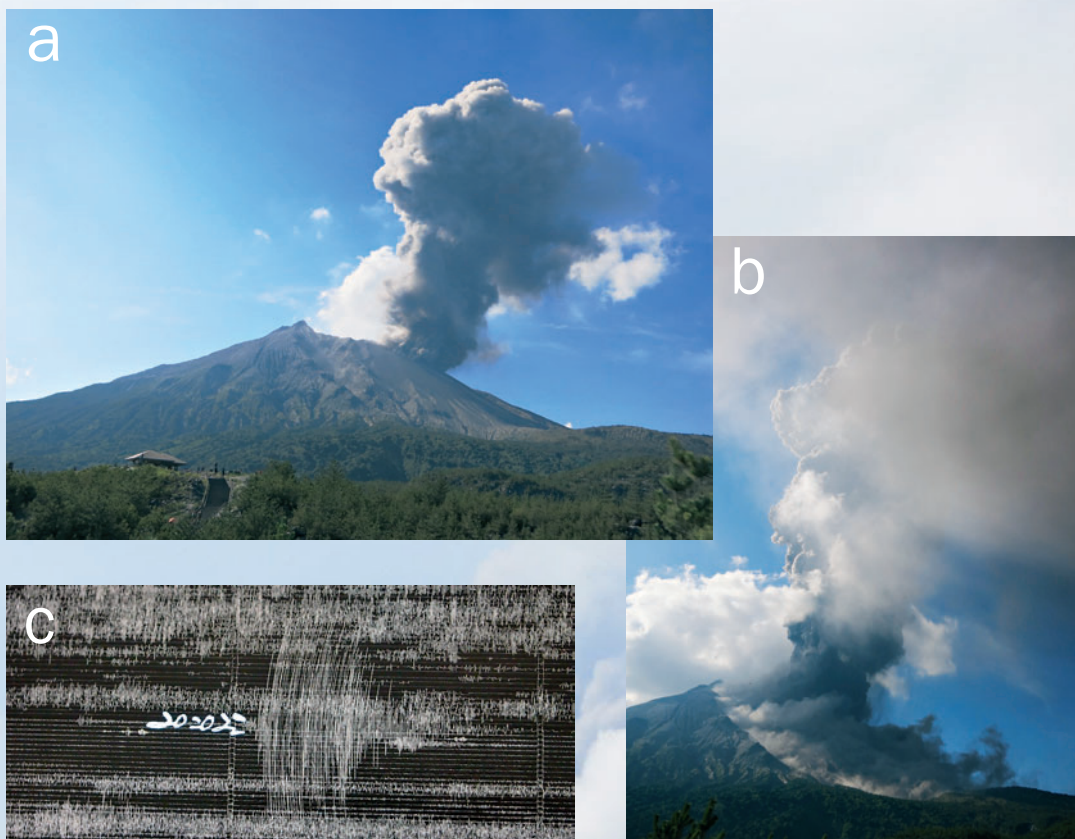
Figure 2. Configuration of the tectonic plates and their directions of movement (relative to the North-American plate) near Japan. Figure modified from materials provided by Tokai University.



Kuva 3. (a) Japanin ja (b) Sakurajiman lähialueiden kartta. Kuva muokattu Kobayashi et al. (2013) mukaan.
Figure 3. Map of (a) Japan and (b) Sakurajima area. Figure modified after Kobayashi et al. (2013).



Kuva 4. Sakurajiman purkaushistoria 1955–2015. Lähde: Sakurajima Visitor Center.
Figure 4. Eruptive history of Sakurajima 1955–2015. Source: Sakurajima Visitor Center.



Kuva 5. Sakurajiman purkauksia 22.7.2013. Kuvassa (a) näkyy katselutasanne etualalla vasemmalla, kuvassa (b) voimakkaimmassa purkauksessa (klo 7:35 UTC) syntyneet maanjäristykset saivat vuoren rinteet tärahtelemään ja kuvassa (c) on tähän purkaukseen liittyvä seismogrammi, joka tallennettiin läheisessä observatoriossa.

Figure 5. Eruptions of Sakurajima on 22nd of July, 2013. A viewing platform is visible in the foreground on the left in (a), earthquakes resulted in trembling of the volcano flanks during the most violent eruption of the day at 7:35 o'clock (UTC) (b), and a seismogram of this eruption recorded at the nearby observatory is shown in (c).

hyvin aktiivinen, mutta viimeisestä ihmisuhreja vaatineesta, epätavallisen suuresta räjähdyspurkausta on kuitenkin aikaa jo yli sata vuotta. Vuoden 1914 purkauksessa kuoli yli 50 ihmistä, tiettävästi suurelta osin purkaukseen liittyneissä maanjäristyksissä. Maanjäristykset alkoivat jo ennen purkausta, ja saari ehdittiin evakuoidea, mikä vähensi itse purkauksen aiheuttamia henkilövahinkoja.

Vuodesta 1955 vuoteen 2008 Sakurajima purkautui keskimäärin noin joka toinen päi-

vä (kuva 4). Vuodesta 2009 eteenpäin purkauksia on ollut keskimäärin kaksi päivässä. Purkauskäärän suhteen vuosi 2011 oli Sakurajimalla huippuvuosi, jolloin tapahtui noin 1 000 purkausta. Vuodesta 1955 alkanut purkausvaihe on ollut suhteellisten rauhallisten, mutta hyvin näyttävien räjähdyspurkausten sävyttämä (kuva 5). Tämä johtuu siitä, että tulivuoren magmasäiliön purkautuessa tasaisella tahdilla sen paine ei pääse kasvamaan vaarallisen suureksi.

Purkausten synty ja koostumus

Subduktiovyöhykkeiden tulivuoret saavat alkunsa, kun alityöntyvään merelliseen laattaan sitoutunut merivesi vapautuu metamorfisten reaktioiden seurauksena yläpuolisen merellisen tai mantereisen laatan alla sijaitsevaan vaipan kiilaan (kuva 2). Kasvava vesipitoisuus alentaa huomattavasti vaipan peridotiitin sulamislämpötilaa ja voimakas sulanmuodostus voi alkaa täten jo normaaleissa ylävaipan lämpötiloissa (noin 1300 °C). Muodostuvat sula-taskut kerääntyvät yhteen ja alkavat ympäristöään kevyempänä nousta kohti maankuorta ja sen pintaosia ja muodostavat lopulta tulivuoriketjun subduktiovyöhykkeen läheisyyteen.

Sakurajiman eri kraattereista purkautuneen kivisulan koostumus on vaihdellut historiallisena aikana andesiittisestä dasiittiseen (61–67 painoprosenttia piidioksidia; Schneider *et al.* 2014). On ehdotettu, että Sakurajiman alla on kaksi erillistä magmasäiliötä, joista toisessa on pitkälle kehittyntä dasiittista magmaa ja toisessa emäksisempää vaippaperäistä magmaa (Yanagi *et al.* 1991). Nämä kivisulat sekoittuvat erilaisissa suhteissa keskenään, mikä selittäisi purkautuvan materiaalin koostumuksen vaihtelun. Vaihtoehtoisesti emäksisempi kivisula nousee suoraan syvemmästä lähteestä dasiittiseen magmasäiliöön (Nagle *et al.* 2005). Sulien kemialliseen koostumukseen vaikuttaa jonkin verran myös sivukivien sekoittuminen sulaan eli assimilatio, joka on tunnistettu analysoimalla laavakivien Sr, Nd ja Pb isotooppikoostumuksia (Shibata *et al.* 2013).

Subduktiovyöhykkeisiin liittyvät andesiittis-dasiittiset räjähdyspurkaukset eivät kuitenkaan yleensä ole yhtä säännöllisiä ja jatkuvia kuin Sakurajimalla. Piidioksidista rikastuneilla sulilla on korkea viskositeetti, ja ne siksi usein

tukkivat aktiiviset purkauskanavat, jotka siten kiteytyvät kiinteäksi kiveksi. Tämä johtaa pitkään lepovaiheeseen, jolloin sula ei pääse purkautumaan vapaasti. Lopulta kun sulasta vapautuvien kaasujen paine säiliössä kasvaa riittävästi, tapahtuu voimakas ja usein ihmisille vaarallinen räjähdyspurkaus. Sakurajiman tapauksessa epätavalliseen aktiivisuuteen voi vaikuttaa aiemmin mainittu emäksisemmän vaippaperäisen sulan jatkuva tuotto ja sekoittuminen happaman kivisulan kanssa (Yanagi *et al.* 1991).

Elämää tulivuoren naapurissa

Kagoshiman 600 000 asukkaan kaupunki sijaitsee vain noin kahdeksan kilometria Sakurajimasta länteen, ja tulivuori onkin hyvin näkyvissä lähes kaikkialta kaupungista (kuva 1). Tavanomaisen purkauksen ollessa käynnissä paikalliset asukkaat eivät kiinnitä siihen mitään huomioita, niin tavallinen näky se on ollut viime vuosina. Vuonna 2015 oli yli 190 purkausta, joissa purkauspilvi kohosi yli kolmen kilometrin korkeuteen.

Ainoa Kagoshiman asukkaisiin suoraan vaikuttava vulkaaninen hasardi on tulivuoresta lähtöisin oleva tuhka, joka sataa kaupunkiin tuulten puhaltaessa idästä päin. Tuhka huonontaa näkyvyyttä liikenteessä, ja vain yhden millimetrin paksuinen tuhkerakkeros tiellä voi tehdä siitä vaarallisen liukkaan. Kaupungilla on välittömässä valmiudessa satakunta tuhkanpuhdistusyksikköä, joiden tehtävä on siivota kaikki kadut tuhkasta alle kolmessa päivässä. Tuhkan pitkäaikaisvaikutuksia hengitysilmaan ja paikallisten terveyteen on tutkittu 1980-luvulta lähtien, mutta vaikutusten on arveltu olleen hyvin vähäisiä (esim. Yano *et al.* 1990). Tuhkan on myös todettu sisältävän suhteellisen vähän terveydelle vaarallisia hydroksyyli- ja asbestimaisia mineraalikuuita (Hillman *et al.* 2012). Tuhkasateen



Kuva 6. Laharien juoksutuskanava Sakurajiman kansainvälisen tulivuorikeskuksen (Sakurajima International Volcanic Sabo Center) vieressä.

Figure 6. Channel built to direct lahar flows next to the Sakurajima International Volcanic Sabo Center.

ollessa rankimmillaan hengityssuojaimien käyttö kaupungissa on kuitenkin aiheellista.

Sakurajiman aktiivisuuden vuoksi tulivuorelle perustettiin 1960-luvulla tutkimusobservatorio, jonka keskeiseen toimintaan kuuluu alueen seismisten ilmiöiden valvonta ja varoitusten antaminen. Tulivuoren ja asutuksen välille on rakennettu valtavia ”kanavia”, joiden on tarkoitus ohjata lahareita turvallisesti sivuun lähialueen kylistä (kuva 6). Suurempien räjähdyspurkausten varalta alueelle on myös kaivettu tunneleita, joihin voi piiloutua suojaan pyroklasteilta. Viimeisimmän hyvin aktiivisen purkausvaiheen aikana Sakurajiman asukkaat ovat kuitenkin pystyneet jatkamaan

elämäänsä pääosin normaalisti. Turistit ovat päässeet vierailemaan paikallisessa tulivuorikeskuksessa ja -puistossa, jossa pääsee astelemaan historiallisten laavavirtojen päällä. Purkauksia on voinut seurata näköalatasanteilta reilun kahden kilometrin päässä kraattereista tai samalla, kun liottaa jalkojansa Sakurajiman luontaisesti kuumissa lähdevesissä.

Sakurajiman tulivuorella on ollut suuri vaikutus alueen elinkeinoihin, kulttuuriin ja taiteeseen (kuva 7). Kagoshiman ympäristön maat ovat tunnettuja hedelmällisyydestään ja maatalous onkin kalastuksen ohella alueen merkittävin perinteinen elinkeino. Alueella kasvava retiisilaji (Sakurajima daikon) on

kokonsa puolesta päässyt jopa Guinnessin ennätysten kirjaan – suurin punnittu yksilö painoi 31 kg ja sen ympärysmitta oli 119 cm.

Lopuksi

On hyvä muistaa, että tulivuoret ovat aina jossain määrin arvaamattomia ja niiden käyttäytyminen voi muuttua lyhyelläkin aikavälillä. Esimerkiksi kuluvana vuonna purkauksissa oli kolmen viikon tauko, joka päättyi hyvin voimakkaaseen räjähdyspurkaukseen 25. heinäkuuta, jolloin purkauspilvi kohosi jopa kuu-den kilometrin korkeuteen. Jos itse tulivuoren alarinteille matkustaminen tuntuu liian riskialttiilta, tulivuorta ja sen purkauksia voi ihastella turvallisemmin myös Kagoshiman kaupungista, jota voimme suositella lämpimästi matkakohteena – kaupungissa ja sen läheisyydessä on paljon muitakin nähtävyyksiä. Paikalliset ihmiset puhuvat hyvin vähän englantia, mutta ovat sitäkin ystävällisempiä ja avuliaita.

JUSSI S. HEINONEN

Geotieteiden ja maantieteen laitos

PL 64

00014 Helsingin yliopisto

jussi.s.heinonen@helsinki.fi

ELINA LEHTONEN

Luonnontieteellinen keskusmuseo,

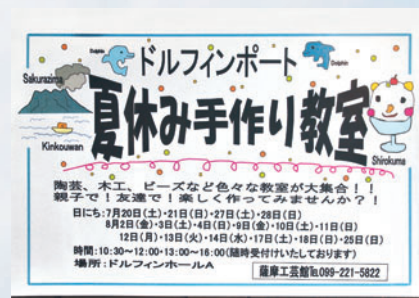
LUOMUS

PL 44

00014 Helsingin yliopisto

eslehton@luukku.com

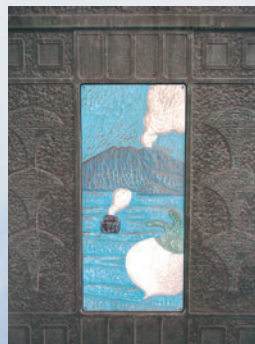
FT, akatemiaturkija Jussi Heinonen ja FT Elin Lehtonen ovat geologeja ja vierailivat Sakurajimalla IAVCEI (International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior) 2013 -kokouksen yhteydessä.



Summary

Sakurajima – one of the world's most active volcanoes

Sakurajima composite volcano is one of the most active volcanoes in the world today. It is located on Kyushu Island in southern Japan, next to the city of Kagoshima. It emerged above sea level 13,000 years ago from a large caldera (Aira) and its current elevation is more than 1100 m above sea level. The latest active phase began in 1955 and has



Kuva 7. Sakurajima on oleellinen osa Kagoshiman ja sen lähialueiden kulttuuria. Dinosauruspuistossa voi päästä liitukautisiin tunnelmiin Sakujariman purkautuessa taustalla.

Figure 7. Sakurajima is a central character in the culture of Kagoshima and nearby areas. You can sense a Cretaceous atmosphere in the Sakurajima Nature Dinosaur Park with Sakujarima erupting on the background.

continued to present day with the most active period taking place during 2009–2015: in 2011 there were almost one thousand recorded eruptions. Despite (or, actually, because of) its continuous activity, Sakurajima's eruptions are usually not dangerous or extremely violent and it can be considered one of the safest places on Earth to observe a volcano that mainly erupts pyroclastic material. The current behavior of Sakurajima is probably the result of a continuous supply of basic magma from Earth's mantle that is mixed with more acidic

magma in crustal magma chambers. Nearby areas are well-equipped to cope with the ash fall and even large channels have been constructed to direct possible lahar flows away from settlements. Sakurajima is an important part of the culture of the Kagoshima area, which is sparsely populated by Japanese standards and a wonderful location to visit.

Kirjallisuus

Hillman, S.E., Horwell, C.J., Densmore, A.L., Damby, D.E., Fubini, B., Ishimine, Y., *et al.*, 2012.

- Sakurajima volcano: a physico-chemical study of the health consequences of long-term exposure to volcanic ash. *Bulletin of Volcanology* 74:913–930.
- Kobayashi, T., Okuno, M. ja Tameguri, T., 2013. B5: Kirishima, Sakurajima volcanoes and their source calderas in southern Kyushu. IAVCEI 2013 Field Trip Guide, IAVCEI 2013 Scientific Assembly, 19 s.
- Nagle, A.N., Harpp, K.S. ja Geist, D.J., 2005. Temporal geochemical variations in lavas from Sakurajima volcano, Japan. American Geophysical Union, Fall Meeting 2005, abstract #V53B-1566.
- Schneider, A., Harpp, K.S., Forbes, J. ja Nagle, A., 2014. Cyclic geochemical variation in prehistoric and historic lavas, Sakura-jima, Japan. American Geophysical Union, Fall Meeting 2014, abstract #V51C-4771.
- Shibata, T., Suzuki, J., Yoshikawa, M., Kobayashi, T., Miki, D. ja Takemura, K., 2013. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic constraints on the origin and magmatic evolution of Quaternary lavas of Sakurajima volcano, southern Kyushu Island, Japan. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan* 58:43–58.
- Yanagi, T., Ichimaru, Y. ja Hirahara, S., 1991. Petrochemical evidence for coupled magma chambers beneath the Sakurajima volcano, Kyushu, Japan. *Geochemical Journal* 25:17–30.
- Yano, E., Takeuchi, A., Nishii, S., Koizumi, A., Poole, A., Brown, R.C., *et al.*, 1985. In vitro biological effects of volcanic ash from Mount Sakurajima. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 16:127–135.

Muita lähteitä

Japan Meteorological Agency: www.jma.go.jp/en
 Sakurajima Visitor Center: www.sakurajima.gr.jp/svc/english
 Volcano Discovery: www.volcanodiscovery.com
 Tokai University: www.sems-tokaiuniv.jp/EPRCE/eq.html

