

東・東南アジア地域の大規模降下テフラの分布

-G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 4/7 -

宝田晋治
Shinji Takarada

地質調査総合センター活断層・火山研究部門
Institute of Earthquake and Volcano Geology, Geological Survey of Japan, AIST

Takarada, S. (2019) Distribution of large-scale tephra falls in East and Southeast Asia: Data of G-EVER Asia-Pacific Region Earthquake and Volcanic Hazards Information System 4/7. Open-File Report of the Geological Survey of Japan, AIST, no. 684, p. 1-15.

Abstract

東・東南アジア地域に分布する大規模降下テフラの分布を、GIS データとして取りまとめた。ここでは、国内を除く、トバ 7.4 万年前噴火、白頭山 946 年噴火、タンボラ 1815 年噴火、リンジャニ・サマラス 1257 年噴火、クラカタウ 1883 年噴火、ラバウル 7 世紀噴火、ピナツボ 1991 年噴火、ロングアイランド 1660 年噴火、ウィトリ・キンベ 2 噴火、ウルルン・隠岐噴火による 10 の降下テフラについて取りまとめている。

The distribution of large-scale tephra falls in East and Southeast Asia are compiled and GIS data are provided. Tephra falls data are obtained from 10 volcanic caldera-forming eruptions in the region (except in Japan) such as Toba 74 ka eruption, Baitoushan-Tomakomai 946AD eruption (B-Tm), Tambora 1815AD eruption, Rinjani-Samalas eruption, Krakatau 1883AD eruption, Rabaul 7c eruption, Pinatubo 1991AD eruption, Long Island 1660AD eruption, Witori-Kimbe2 eruption (W-K2), and Ulleung-Oki eruption (U-Oki).

1. はじめに

カルデラ形成を伴う巨大・大規模噴火では、数 \sim 100 km³以上の火砕物が一気に地表に噴出し、プリニー式噴火による大規模な噴煙柱や、周囲に流れ下った大規模火砕流から分離した火山灰 (co-ignimbrite ash; Walker, 1983) が降下テフラとして、給源から 100 km 以上、時には 1000 km 以上離れた範囲を広く覆う。大規模噴火による降下テフラの影響範囲の評価は、今後の大規模カルデラ噴火の影響範囲を予測する上でも重要である。産総研地質調査総合センターでは、2016 年に東・東南アジア地域の大規模な地震、火山噴火による分布域などを取りまとめ、1000 万分の 1 東アジア地域地震火山災害情報図として出版した (Takarada et al., 2016)。その中では、VEI (火山爆発指数; Newhall and Self, 1982) 6 以上 (10 km³ 以上) の 14 の代表的な降下テフラの分布域を示した。本研究資料集では、東・東南アジア地域において、スミソニアン (Smithsonian) の Volcanoes of the world

第3版 (Siebert et al., 2010) に示されている完新世及び更新世の巨大・大規模火山噴火の内、国内を除く、74 ka 以降の VEI7 以上の噴火、及び 10.2 ka 以降の VEI6 の噴火で発生した 10 の降下テフラを取り上げた (表 1). トバ 7.4 万年前噴火、白頭山 946 年噴火、タンボラ 1815 年噴火、リンジャニ 1257 年噴火、クラカタウ 1883 年噴火、ラバウル 7 世紀噴火、ピナツボ 1991 年噴火、ロングアイランド 1660 年噴火、ウィトリ-キンベ 2 噴火、ウルルン-隠岐噴火の降下テフラについて、分布域の GIS データの作成を行った。国外の 10.2 ka 以降の VEI6 の噴火で発生した降下テフラには、タール 5.4 ka 噴火 (Torres et al., 1995)、ダカタウア 1.4 ka 噴火 (McKee et al., 2011)、ビリーミッチェル 1580 年噴火 (Wadge et al., 2018) が含まれるが、これらの堆積物の分布の詳細は、文献では不明であったため、ここでは示していない。また、ウィトリ-ガリロ噴火及びウィトリ-キンベ 1 噴火 (Machida et al., 1996) も、10.2 ka 以降の VEI6 の噴火に該当するが、ここでは、最も規模の大きいウィトリ-キンベ 2 噴火 (約 30 km³; McKee et al., 2011) の分布を示している。一方、Volcanoes of the world 第3版には含まれていないが、その後の研究により噴火や降下テフラの分布の詳細が明らかとなった、リンジャニ-サマラス 1257 年噴火 (Vidal et al., 2015, 2016; Lavigne et al., 2013) を、ここでは新たに追加している。

表 1. 国内を除く、74 ka 以降の VEI7 以上の噴火、及び 10.2 ka 以降の VEI6 の噴火のリスト (Siebert et al., 2010 に基づく)。○: 本研究資料集で取り上げた噴火、●: 本研究資料集で取り上げなかった噴火。VEI は最新知見に基づき修正されている。

Table 1. List of VEI8 and VEI7 eruptions after 74 ka and VEI6 eruptions after 10.2 ka (except in Japan; after Siebert et al., 2010). Open circle: described in this open-file report, Closed circle: not described in this report. VEI is updated based on the latest information.

No	Volcano	Event	Age	VEI	Region	Description
1	Toba Caldera	Toba 74ka eruption	74 ka	8	Sumatra, Indonesia	○
2	Changbaishan (Baitoushan, Baegdu, Tianchi) volcano	Changbai 946AD eruption	946 AD	7	Rygangang, North Korea and Jilin, China	○
3	Tambora Caldera	Tambora 1815AD eruption	1815 AD	7	Sumbawa, Indonesia	○
4	Rinjani-Samalas volcano	Rinjani-Samalas 1257AD eruption	1257 AD	7	Lombok, Indonesia	○
5	Krakatau Caldera	Krakatau 1883AD eruption	1883 AD	6	Sunda Strait, Indonesia	○
6	Rabaul Caldera	Rabaul 7c eruption	681-684 AD	6	East New Britain, Papua New Guinea	○
7	Pinatubo volcano	Pinatubo 1991AD eruption	1991 AD	6	Luzon, Philippines	○
8	Witori Caldera	Witori-Kimbe2 eruption	3.3 ka	6	New Britain Island, Papua New Guinea	○
9	Long Island	Long Island 1660AD eruption	1660 AD	6	Vitiaz Strait, Papua New Guinea	○
10	Ulleung volcano	Ulleung-Oki eruption	10.2 cal ka	6	Eastward offshore of Korea	○
11	Taal Caldera	Taal 5.4ka eruption	5.4 ka	6	Luzon, Philippine	●
12	Dakataua Caldera	Dakataua 1.4ka eruption	1.4 ka	6	New Britain Island, Papua New Guinea	●
13	Witori Caldera	Witori-Galilo eruption	1.2 ka	6	New Britain Island, Papua New Guinea	●
14	Witori Caldera	Witori-Kimbe1 eruption	5.6 ka	6	New Britain Island, Papua New Guinea	●
15	Billy Mitchell volcano	Billy Mitchell 1580AD eruption	1580 AD	6	Bougainville Island, Papua New Guinea	●

各火山の位置を、図 1, 2 に示す。大規模降下テフラの影響範囲の評価等に利用して頂ければ幸いである。なお、本データは、2019 年 7 月下旬より、G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム (<http://ccop-geoinfo.org/G-EVER/>) 上で閲覧・ダウンロードが可能になる予定である。

2. 手法

東・東南アジア地域の、国内を除く、74 ka 以降の VEI7 以上の噴火、及び 10.2 ka 以降の VEI6 の噴火で発生した 10 の降下テフラについて、文献調査を行い、分布域を GIS データとしてとりまとめた。また、可能な降下テフラについては、等層厚線 (isopach) を示している。基本的には文献に掲載されている等層厚線を、トレースしている。しかし、複数の降下テフラの分布データが存在する場合等については、一部編集の上、分布限界、等層厚線を示している。分布図の解像度は、文献の解像度によるため、多くの場合、1000 万分の 1~20 万分の 1 程度の精度である。

年代値は、文献情報に基づき、可能な限り最新の値とその根拠を示した。複数の年代値がある場合は、それらのいくつかを示し、妥当な代表値を示した。歴史時代の噴火は西暦で、それ以外噴火は ka で示した。暦年較正による年代値が文献で示されている場合は、”cal ka”等で表記した。また、歴史時代の噴火で、具体的な噴火年が特定されていない場合は、範囲を示した。体積は、見かけの体積 (km³)を示した。

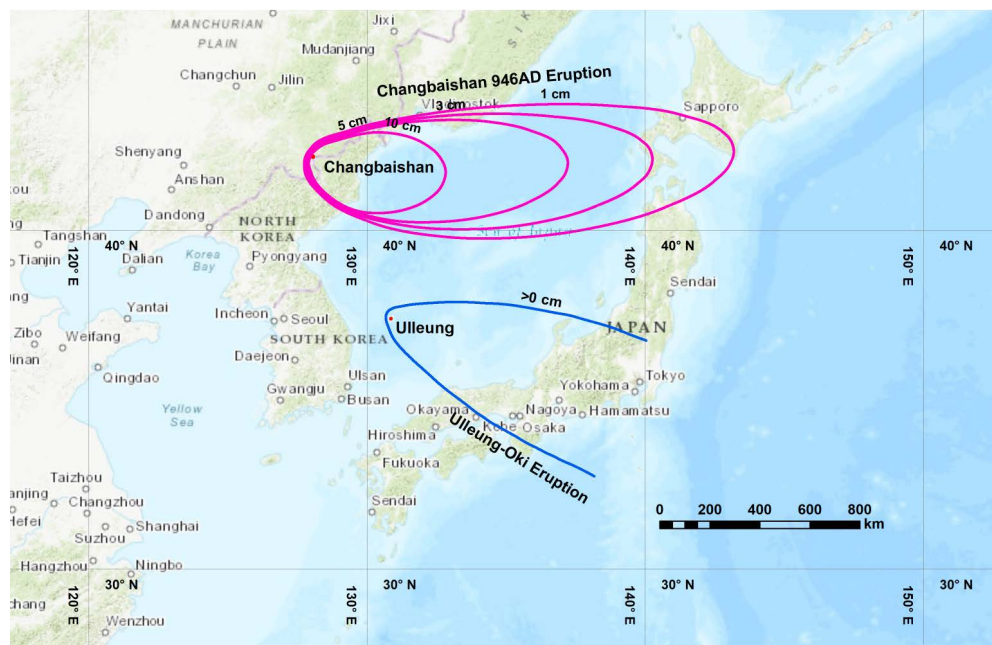


図 1. 各火山の位置と降下テフラの分布（日本周辺地域）。赤色のラインは給源のカルデラ、青色のラインは降下テフラの分布限界、紫色のラインは等層厚線を示す（以下同様）。地形図は ESRI 社の ArcGIS のベースマップを利用。

Fig. 1. Distribution of volcanoes and tephra falls in this report (Japan and surroundings area). Red line indicates the location of source caldera, blue line indicates the limit of tephra fall distribution and pink line indicates the isopach contours (same as the following figures). Base map provided by the ESRI ArcGIS software is used.

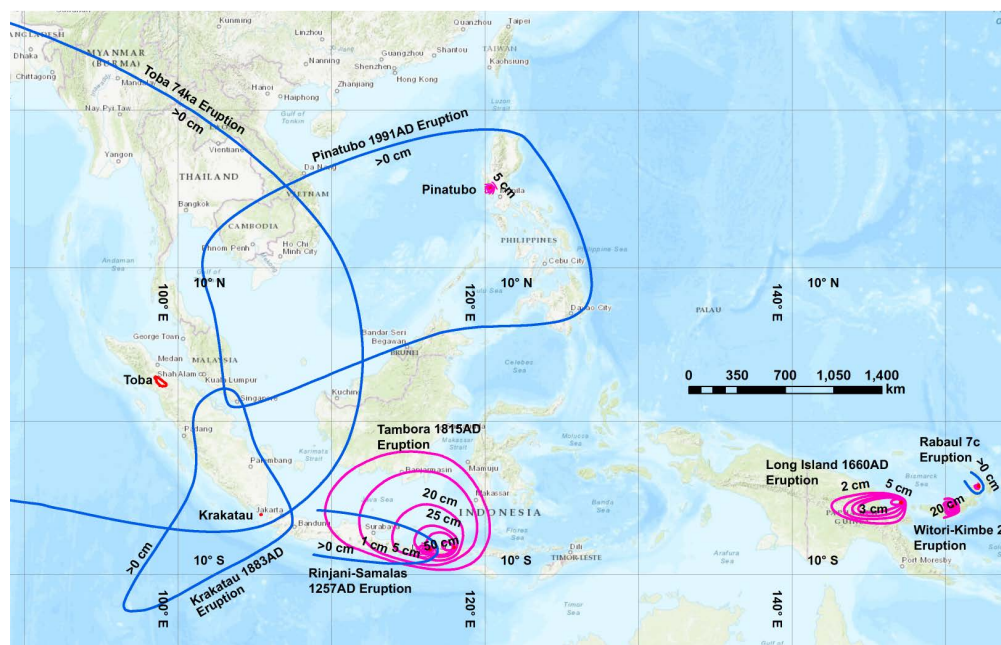


図 2. 各火山の位置と降下テフラの分布（フィリピン、インドネシア、パプアニューギニア周辺地域）。赤色のラインは給源のカルデラ、青色のラインは降下テフラの分布限界、紫色のラインは等層厚線を示す。地形図は ArcGIS のベースマップを利用。

Fig. 2. Distribution of volcanoes and tephra falls in this report (Indonesia, Philippines and Papua New Guinea area). Red line indicates the location of source caldera, blue line indicates the limit of tephra fall distribution and pink lines indicate the isopach contours. Base map provided by the ArcGIS software is used.

3. 降下テフラの概要

3-1. トバ 7.4 万年前噴火 (VEI=8)

インドネシアスマトラ島のトバカルデラでは、約 7.4 万年前の大規模噴火により、Younger Toba Tuff (YTT) 火砕流が発生し (Knight et al., 1986; Acharyya and Basu, 1993), 火砕流に伴う降下テフラが北西方向に広がり、スマトラ島北西部、ベンガル湾、インド洋北部、インド大陸周辺部に広く分布している (図 3; Acharyya and Basu, 1993; Ninkovich et al., 1978a). 総噴出量は、約 2,800 km³ (VEI=8) と見積もられている (Rose and Chesner, 1987, Chesner and Rose, 1991). 噴火年代は、73.7±0.3 ka (Mark et al., 2017), 73.88±0.32 ka (Storey et al., 2012) の ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代値が得られており、約 7.4 ka と考えられる. 降下テフラの分布域は、Self (2006), Lee et al. (2004), Acharyya and Basu (1993), Ninkovich et al. (1978a; 1978b), Oppenheimer (2002) を参照し、編集の上、分布限界 (>0 cm) を示している.

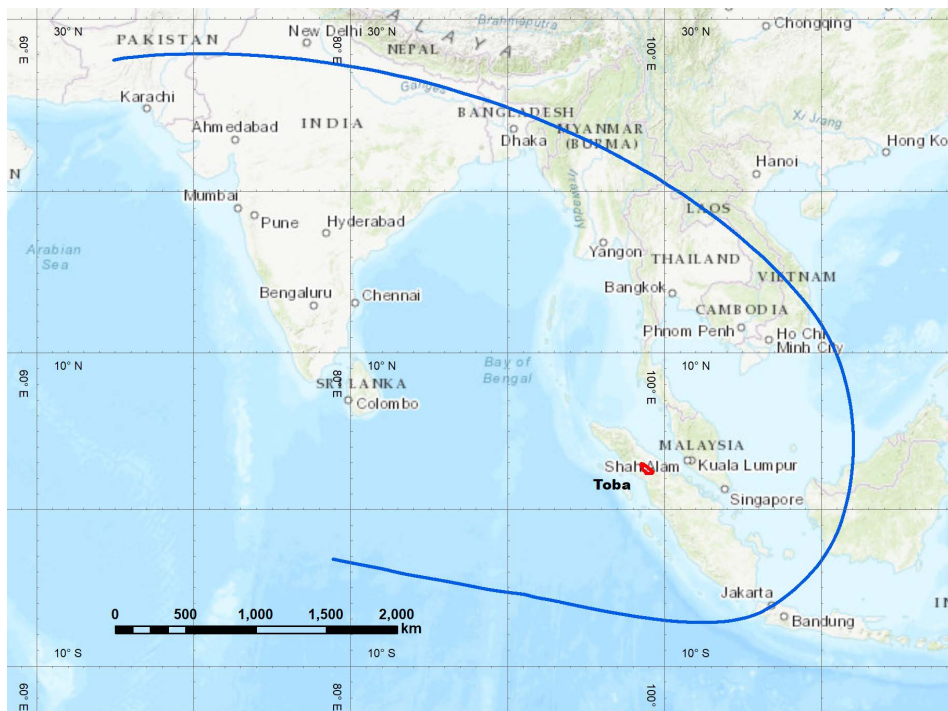


図 3. トバ 7.4 万年前噴火の降下テフラの分布 (Self, 2006; Lee et al., 2004; Acharyya and Basu, 1993; Ninkovich et al., 1978a, 1978b; Oppenheimer, 2002). 赤色のラインは給源のカルデラ、青色のラインは降下テフラの分布限界を示す. 地形図は ESRI 社の ArcGIS のベースマップを利用.

Fig. 3. Distribution of tephra fall deposit derived from the 74ka Toba eruption (Self, 2006; Lee et al., 2004; Acharyya and Basu, 1993; Ninkovich et al., 1978a, 1978b; Oppenheimer, 2002). Red line indicates the location of source caldera and blue line indicates the limit of tephra fall distribution. Base map provided by the ESRI ArcGIS software is used.

3-2. 白頭山 946 年噴火 (VEI=7)

中国、北朝鮮国境の白頭山 (Changbaishan, Baitoushan, Baegdu, Taichi) 火山では、西暦 946 年の噴火で火砕流 (Horn and Schminke, 2000; Wei et al., 2013) が発生し、噴火に伴う降下テフラが白頭山-苦小牧テフラ (B-Tm) として東方に分布しており、北日本地域のよい鍵層となっている (図 4; Machida et al., 1990; 町田・新井, 2003). 噴火年代については、多くの検討がされてきた (例えば、早川・小山, 1998, Yatsuzuka et al., 2010) が、近年では ¹⁴C スパイク年代決定法や埋没樹木を用いた ¹⁴C ウィグルマッチングにより、西暦 946 年の噴火であるとされている (Oppenheimer et al., 2017; 奥野ほか, 2018). 噴出量は、約 100 km³ (VEI=7; Wei et al, 2013;

Horn and Schminke, 2000) と見積もられている. 降下テフラの分布図は, Horn and Schminke (2000) に示された分布を元に, 1, 3, 5, 10cm の等層厚線図を示している.

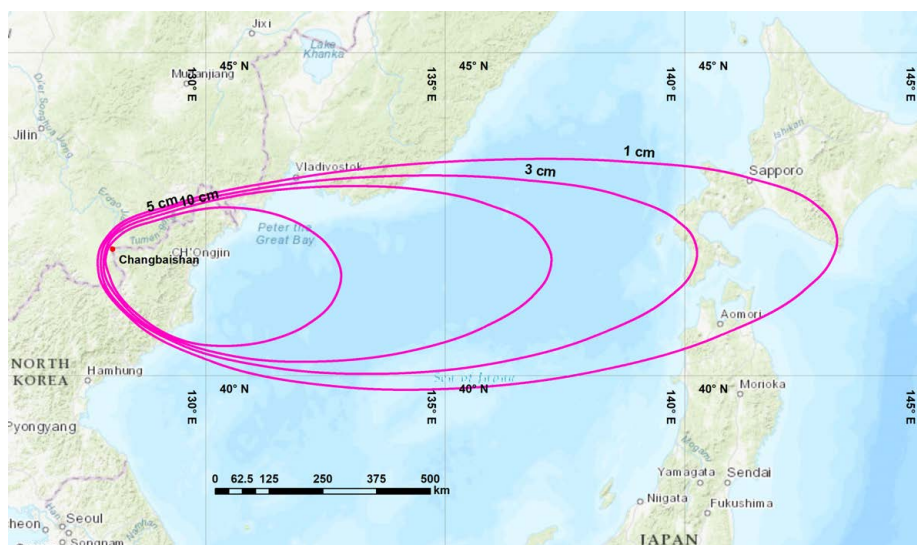


図 4. 白頭山 946 年噴火の降下テフラの分布 (Horn and Schminke, 2000). 赤色のラインは給源のカルデラ, 紫色のラインは等層厚線を示す. 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.
Fig. 4. Distribution of tephra fall deposit derived from the Baitoushan-Tomakomai (B-Tm) 946AD eruption (Horn and Schminke, 2000). Red line indicates the location of source caldera and pink lines indicate the isopach contours. Base map provided by the ArcGIS software is used.

3-3. タンボラ 1815 年噴火 (VEI=7)

インドネシアスンバワ島のタンボラカルデラでは, 西暦 1815 年の噴火で火砕流が発生し (Self et al., 1984; Sigurdsson and Carey, 1989), 噴火に伴う降下テフラが西方, 北方, 東方に広く分布して

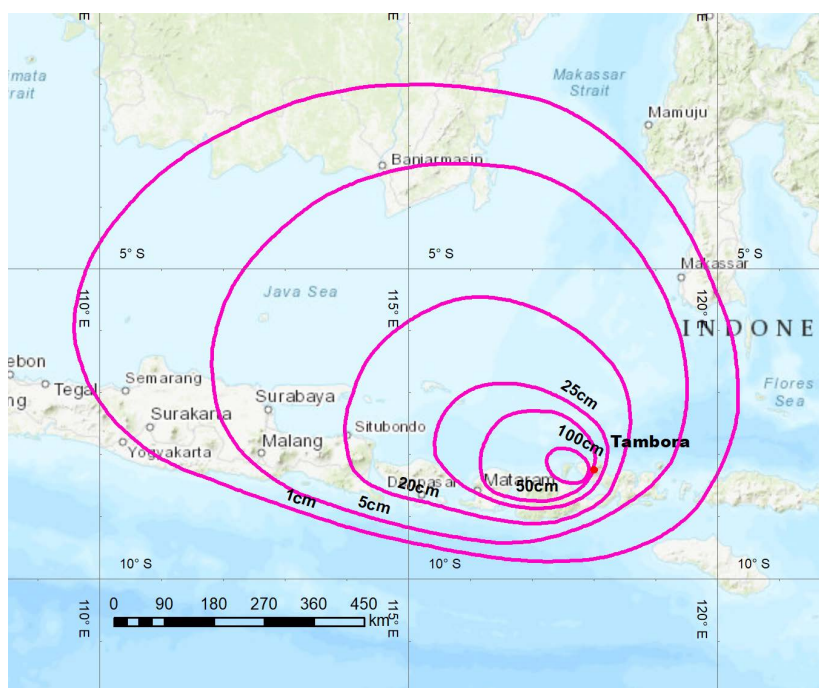


図 5. タンボラ 1815 年噴火の降下テフラの分布 (Self et al., 1984). 赤色のラインは給源のカルデラ, 紫色のラインは等層厚線を示す. 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.
Fig. 5. Distribution of tephra fall deposit derived from the Tambora 1815AD eruption (Self et al., 1984). Red line indicates the location of source caldera and pink lines indicate the isopach contours. Base map provided by the ArcGIS software is used.

いる (図 5; Self et al., 1984; Sigurdsson and Carey, 1989). この噴火では、火砕流により約 11,000 人、関連死により約 49,000 人、合計約 60,000 人が犠牲となっている (Takarada et al., 2016; Siebert et al., 2010). この噴火の噴出量は約 110 km^3 と見積もられている (VEI=7; Self et al., 2004). 最近では、降灰分布の見直しにより、 $41 \pm 4 \text{ km}^3$ (DRE) という見積りも出てきている (Kandlauer and Sparks, 2014). 降下テフラの分布図は、Self et al. (1984) に示された分布を元に、1, 5, 20, 25, 50, 100 cm の等層厚線図を示している. なお、Kandlauer and Sparks (2014)は、給源から 1,000km 以上離れた同心円状の分布域を示しているが、ここでは示していない.

3-4. リンジャニ・サマラス 1257 年噴火 (VEI=7)

インドネシアロンボク島のリンジャニ・サマラス火山では、西暦 1257 年の噴火で火砕流が発生し、噴火に伴う降下テフラが西方に広く分布している (図 6; Vidal et al., 2015, 2016; Lavigne et al., 2013; Métrich et al., 2017; Hiden et al., 2017; Mutaquin et al., 2019). この噴火による地球規模の気温低下により、大勢の犠牲者がでている (Guillet et al., 2017; Stoffel et al., 2015). この噴火の噴出量は、約 100 km^3 (40 km^3 DRE) 以上と見積もられている (VEI=7; Lavigne et al., 2013). 一方、Vidal et al. (2015) は、降下テフラの体積を、 $12 \sim 49 \text{ km}^3$ と見積もっている. アイスコアの対比や ^{14}C 年代値により、噴火年代は、西暦 1257 年とされている (Oppenheimer, 2003; Lavigne et al., 2013). 降下テフラの分布図は、Lavigne et al. (2013) に示された最も層厚の厚い F1 ユニットの分布を元に、5, 10, 20, 30, 50, 70, 90 cm の等層厚線図を示している. なお、分布限界 ($>0 \text{ cm}$) については、近傍の分布から外挿して分布を示している (Takarada et al., 2016).

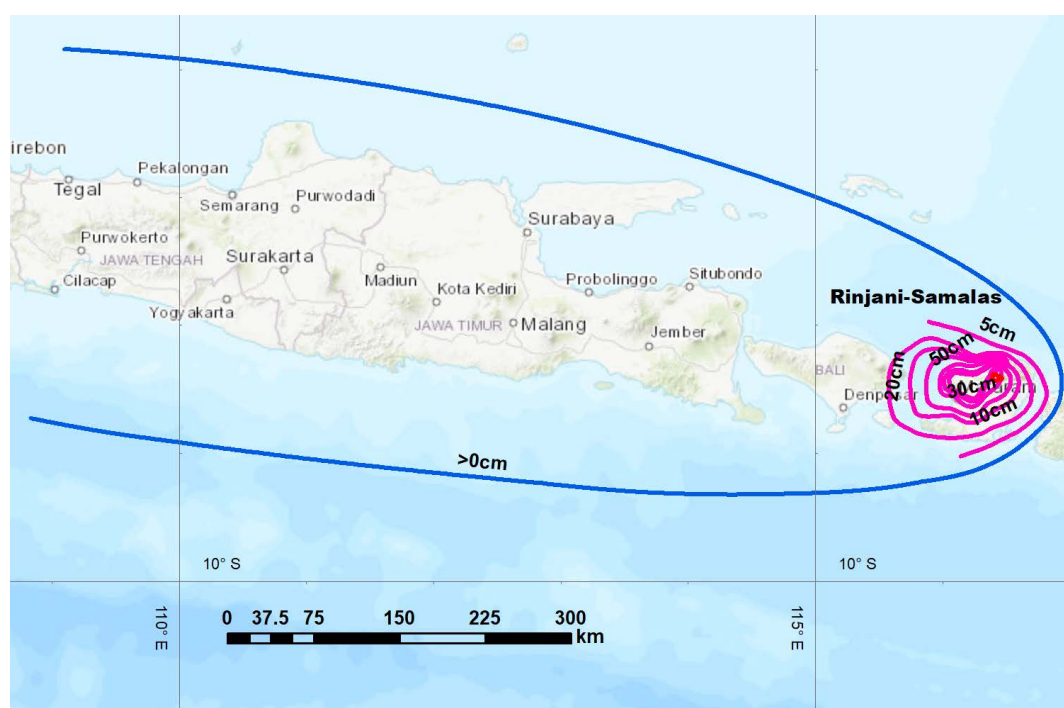


図 6. リンジャニ・サマラス 1257 年噴火の降下テフラの分布 (Lavigne et al., 2013). 赤色のラインは給源のカルデラ、青色のラインは降下テフラの分布限界、紫色のラインは等層厚線を示す. 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

Fig. 6. Distribution of tephra fall deposit derived from the Rinjani-Samalas 1257AD eruption (Lavigne et al., 2013). Red line indicates the location of source caldera, blue line indicates the limit of tephra fall distribution and pink lines indicate the isopach contours. Base map provided by the ArcGIS software is used.

3-5. クラカタウ 1883 年噴火 (VEI=6)

インドネシアのスンダ海峡に位置するクラカタウカルデラでは、西暦 1883 年の噴火で火砕流が発生し (Verbeek, 1884, 1885; Simkin and Fiske, 1983; Francis, 1985; Carey et al., 1996), 噴火に伴う降下テフラが北西, 南西方向に広がり, スマトラ島南東部やジャワ島西部などに広く分布している (図 7; Verbeek, 1885; Fiske and Simkin, 1983). この噴火では, 火砕流により 2,000 人, 降下テフラにより 34,417 人, 合計約 36,417 人が犠牲となっている (Takarada et al., 2016; Siebert et al., 2010). この噴火の噴出量は, 18 km^3 (Verbeek, 1884, 1885), $18 \sim 21 \text{ km}^3$ (Self and Rampino, 1981) と見積もられている (VEI=6). 降下テフラの分布図は, Verbeek (1885) の分布を元に, 分布限界 ($>0 \text{ cm}$) を示している.



図 7. クラカタウ 1883 年噴火の降下テフラの分布 (Verbeek, 1885). 赤色のラインは給源のカルデラ, 青色のラインは降下テフラの分布限界を示す. 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

Fig. 7. Distribution of tephra fall deposit derived from the Krakatau eruption (Verbeek, 1885). Red line indicates the location of source caldera and blue line indicates the limit of tephra fall distribution. Base map provided by the ArcGIS software is used.

3-6. ラバウル 7 世紀噴火 (VEI=6)

パプアニューギニアのニューブリテン島に位置するラバウルカルデラでは、西暦 681～684 年頃の噴火でラバウル火砕流が発生し (Heming, 1974; Nairn et al., 1995; McKee et al., 1985; Walker et al., 1981), 噴火に伴う降下テフラは, ニューブリテン島北部に広く分布している (図 8; Walker et al., 1981). この噴火の噴出量は, 11 km^3 以上 (Walker et al., 1981) と見積もられている (VEI=6). 噴火年代は, ^{14}C 年代測定の平均から, 1380 ± 34 年前の値が得られており, ^{14}C ウィグルマッチング等から, 西暦 681～684 年頃であった (McKee et al., 2015) と考えられている. 降下

テフラの分布図は, Walker et al. (1981), Nairn et al. (1995) を元に, 分布限界 (>0 cm) と, 6.25, 12.5, 25, 50, 100 cm の等層厚線を示している.

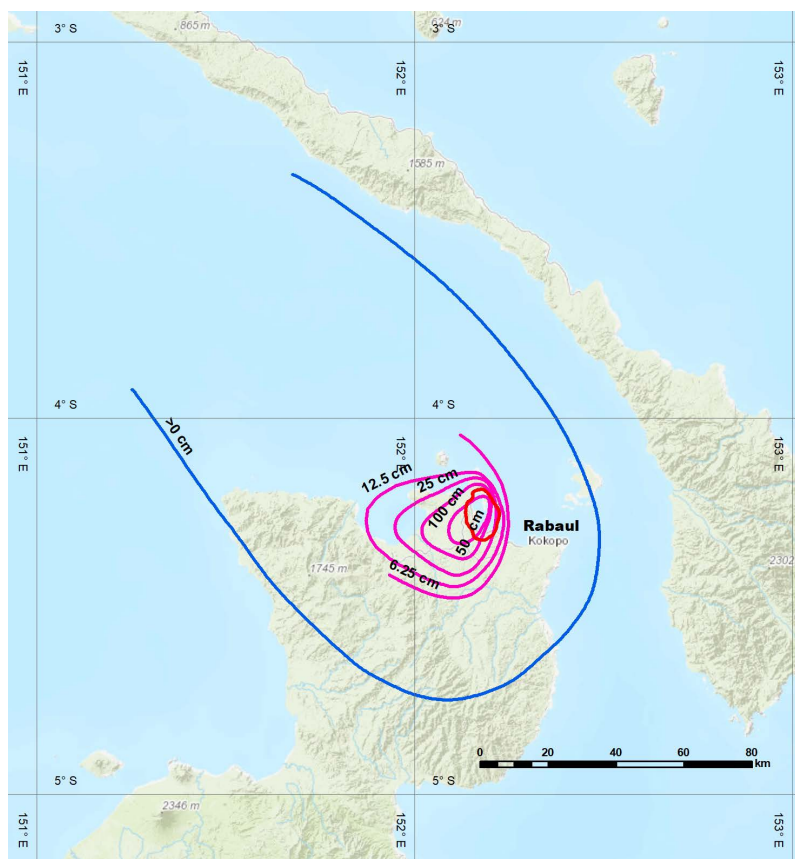


図 8. ラバウル 7 世紀噴火の降下テフラの分布 (Walker et al., 1981; Nairn et al., 1995). 赤色のラインは給源のカルデラ, 青色のラインは降下テフラの分布限界, 紫色のラインは等層厚線を示す. 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

Fig. 8. Distribution of tephra fall deposit derived from the Rabaul 7c eruption (Walker et al., 1981; Nairn et al., 1995). Red line indicates the location of source caldera, blue line indicates the limit of tephra fall distribution and pink lines indicate the isopach contours. Base map provided by the ArcGIS software is used.

3-7. ピナツボ 1991 年噴火 (VEI=6)

フィリピンのルソン島のピナツボ火山では, 西暦 1991 年 6 月 15 日の噴火で火砕流が発生し (Wolfe and Hoblitt, 1996; Scott et al., 1996), 噴火に伴う降下テフラがルソン島中央部や周辺海域に広く分布している (図 9; Paladio-Melosantos et al., 1996; Wolfe and Hoblitt, 1996; Koyaguchi and Tokuno, 1993; Koyaguchi, 1996). この噴火の噴出量は, 火砕流堆積物が $5.5 \pm 0.5 \text{ km}^3$ (Scott et al., 1996), 降下テフラが $3.4 \sim 4.8 \text{ km}^3$ (Paladio-Melosantos et al., 1996), $4.4 \sim 25 \text{ km}^3$ (Koyaguchi, 1996) と見積もられている (VEI=6). 降下テフラの分布図は, Paladio-Melosantos et al. (1996) を元に, 分布限界 (>0 cm) と, 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm の等層厚線を示している. ただし, 火山近傍の層厚線 (図 9b) は, 噴火最盛期の Layer C の層厚分布図を示している.

3-8. ロングアイランド 1660 年噴火 (VEI=6)

パプアニューギニアのニューギニア島東方沖のロングアイランド火山では, 西暦 1660 年頃に火砕流が発生し, 噴火に伴う降下テフラ (Tabito テフラ) が西南西方向に広がり, ニューギニア島東部に分布している (図 10; Blong et al., 2017; Pain et al., 1981). この噴火の噴出量は, 全体で 10

km³ 以上と見積もられている (VEI=6; Blong et al., 2017). 噴火年代は, 多数の ¹⁴C 年代から, 1651 ~1671 年 (95.4 %確率; Blong et al., 2017) と考えられており, ここでは中央値の 1660 年頃としておく. 降下テフラの分布図は, Blong et al. (2017)に示された分布を元に, 2, 3, 5, 10, 160 cm の等層厚線を示している.

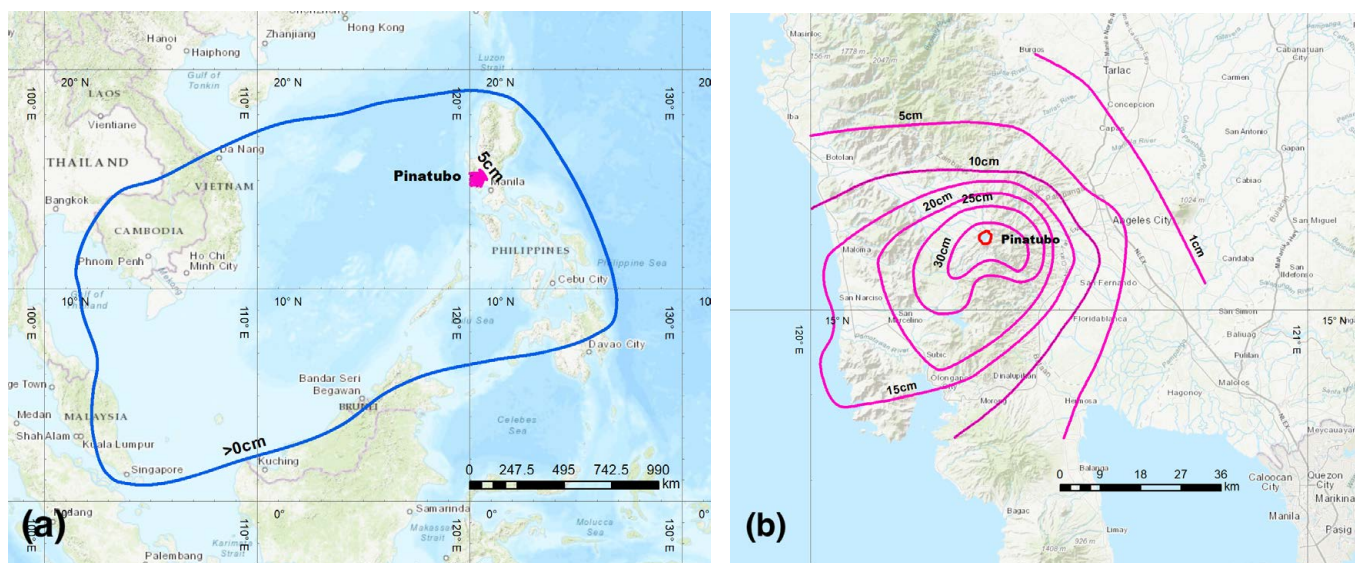


図 9. ピナツボ火山 1991 年噴火の降下テフラの分布 (a) 全域, (b) 火山付近の拡大図 (Paladio-Melosantos et al., 1996). 赤色のラインは給源のカルデラ, 青色のラインは降下テフラの分布限界, 紫色のラインは等層厚線を示す. 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

Fig. 9. Distribution of tephra fall deposit derived from the Pinatubo 1991AD eruption. (a) whole area, (b) near volcano area (Paladio-Melosantos et al., 1996). Red line indicates the location of source caldera, blue line indicates the limit of tephra fall distribution and pink lines indicate the isopach contours. Base map provided by the ArcGIS software is used.

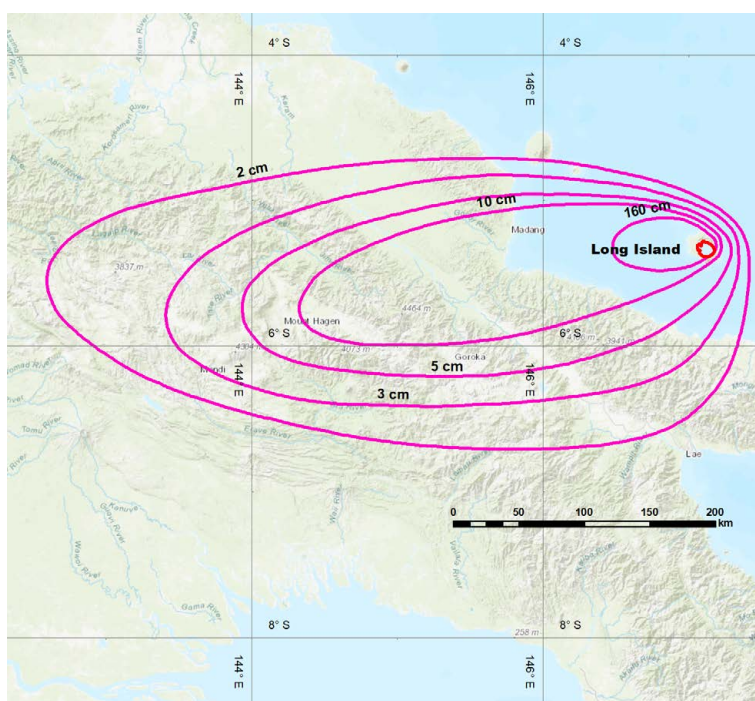


図 10. ロングアイランド 1660 年噴火の降下テフラの分布 (Blong et al., 2017). 赤色のラインは給源のカルデラ, 紫色のラインは等層厚線を示す. 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

Fig. 10. Distribution of tephra fall deposit derived from the Long Island 1660AD eruption (Blong et al., 2017). Red line indicates the location of source caldera and pink lines indicate the isopach contours. Base map provided by the ArcGIS software is used.

3-9. ウィトリ・キンベ 2 噴火 (VEI=6)

パプアニューギニアのニューブリテン島中央部のウィトリ (パゴ) 火山では, 約 3.3 ka に火砕流が発生し, 噴火に伴う降下テフラ (ウィトリ・キンベ 2 テフラ; W-K2) が火山周辺域や西部に広がり, ニューブリテン島中央部から西部に分布している (図 11; Machida et al., 1996; McKee et al., 2011). この噴火の噴出量は, 全体で約 30 km³ と見積もられている (VEI=6; Machida et al., 1996). 噴火年代は, 直下の土壌の ¹⁴C 年代から, 約 3.3 ka (Machida et al., 1996) と考えられている. 降下テフラの分布図は, Machida et al. (1996) に示された分布を元に, 20, 50, 100, 200, 400 cm の等層厚線を示している.

3-10. ウルルン隠岐噴火 (VEI=6)

韓国東方沖のウルルン火山では, 約 10 cal ka に火砕流が発生し (町田ほか, 1984), 噴火に伴うアルカリ岩質の降下テフラ (ウルルン隠岐テフラ; U-Oki) が南東方向に広がり, 日本海や近畿, 中部地域に分布している (図 12; 町田・新井, 2003; 町田ほか, 1984; Machida and Arai, 1983; Lim et al., 2014; Machida, 1999; 新井ほか, 1981; Park et al. 2007). 本噴火の噴出量は, 全体で 10 km³ 以上と見積もられている (VEI=6; 町田・新井, 2003). 噴火年代は, 水月湖の年縞同定, 年縞計数等から, 10,177–10,255 cal BP (Smith et al., 2013) と考えられている. 降下テフラの分布図は, Lim et al. (2014) 及び町田ほか (1984) に示された分布を元に, 分布限界 (>0 cm) と, 100, 300 cm の等層厚線を示している.

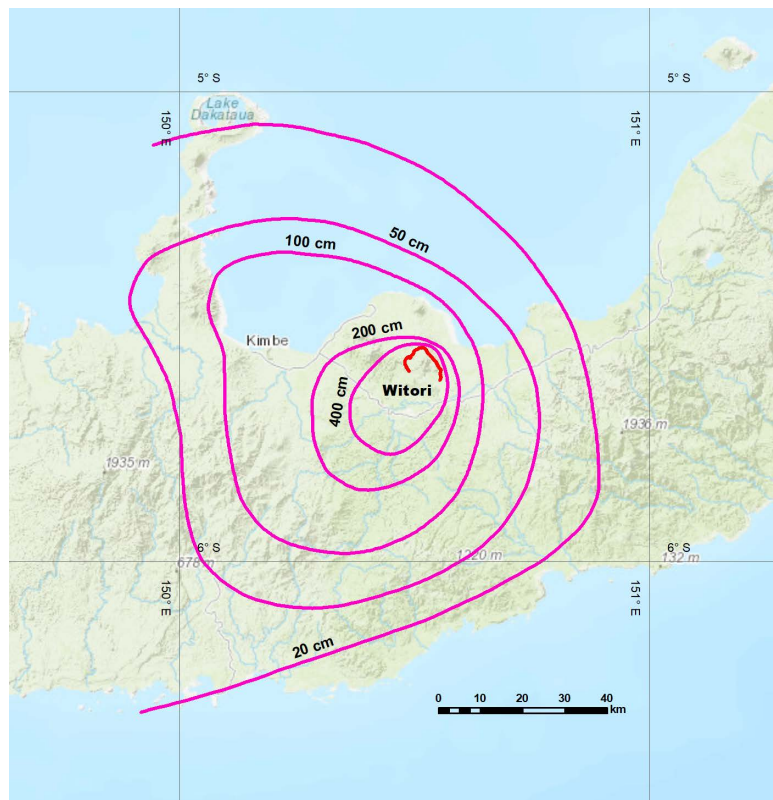


図 11. ウィトリ・キンベ 2 噴火の降下テフラの分布 (Machida et al., 1996). 赤色のラインは給源のカルデラ, 紫色のラインは等層厚線を示す. 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

Fig. 11. Distribution of tephra fall deposit derived from the Witori-Kimbe2 eruption (Machida et al., 1996). Red line indicates the location of source caldera and pink lines indicate the isopach contours. Base map provided by the ArcGIS software is used.

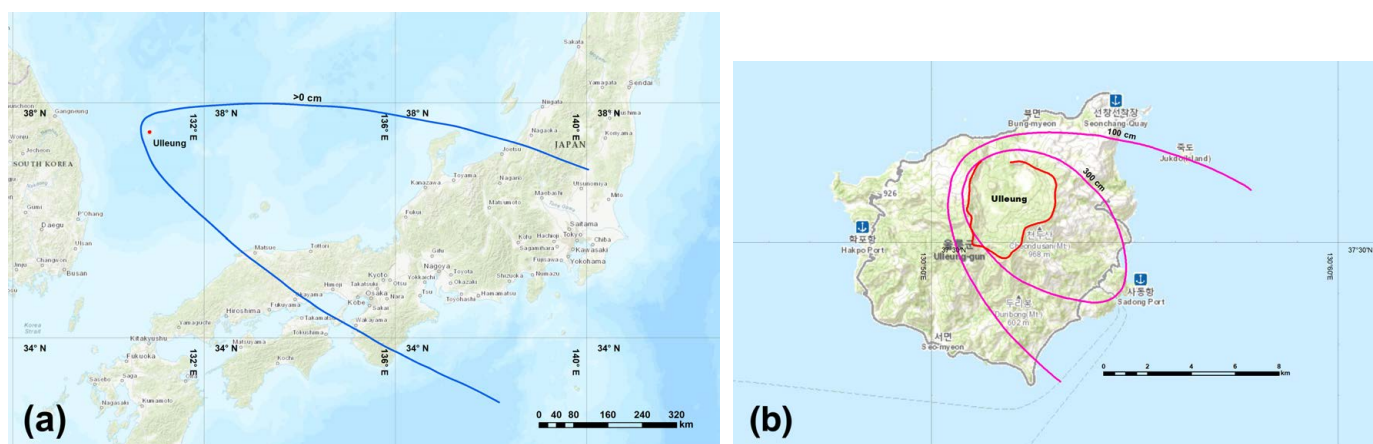


図 12. ウルルン隠岐噴火の降下テフラの分布. (a) 全域 (Lim et al., 2014) 及び (b) 火山付近の拡大図 (町田ほか, 1984). 赤色のラインは給源のカルデラ, 青色のラインは降下テフラの分布限界, 紫色のラインは等層厚線を示す. 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

Fig. 12. Distribution of tephra fall deposit derived from the Ulleung-Oki eruption. (a) whole area (Lim et al., 2014) and (b) proximal area (Machida et al., 1984). Red line indicates the location of source caldera, blue line indicates the limit of tephra fall distribution and pink lines indicate the isopach contours. Base map provided by the ArcGIS software is used.

4. GIS データ

本研究資料集には, 各降下テフラの GIS データが登録されている. GIS データには, 別添のエクセル表に示した各降下テフラの詳細情報 (火山名, イベント名, 噴火年代, VEI, 地域, 等層厚線の厚さ, GIS 表示用の情報, 文献) が, 英語と日本語で埋め込まれている. GIS ソフト上で各ラインの情報表示を行うことで, 各降下テフラの等層厚線ごとの詳細情報を表示することができる. 日本語の文字コードは UTF-8 を使用している. 座標系は WGS1984 (EPSG 4326) を与えている. 拡張子ごとの各ファイルの内容を表 2 に示した. GIS データとエクセル表中の R, G, B は, > 0 cm の分布限界の色 RGB 値(0, 92, 230)とそれ以外の層厚の等層厚線の色 (255, 0, 197) を示している.

表 2. 拡張子とファイル内容

Table 2. Explanation of file extensions

拡張子	説明
.shp	降下テフラ分布図の本体となるファイル
.shx	降下テフラ分布図に関するインデックス情報を格納するファイル
.prj	座標系情報を格納するファイル
.qpj	
.dbf	降下テフラの属性情報を格納するテーブルファイル
.cpg	文字コードの識別コードページ指定ファイル

5. 引用・免責事項

本 GIS データを出版物や Web サイト等で利用される場合は, 適切な引用をお願いします. 引用例やライセンス, 免責事項については以下を参照してください.

引用例：宝田晋治 (2019) 東・東南アジア地域の大規模降下テフラの分布 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 4/7-. 産総研地質調査総合センター研究資料集. no. 684, 産総研地質調査総合センター, p. 1-15.

ライセンス：政府標準利用規約（第 2.0 版）(<https://www.gsj.jp/license/>)が適用されます。

免責：産業技術総合研究所地質調査総合センターは、本データの利用によって生じたいかなる損害にも責任を負いかねます。あくまでも、利用者の自己責任においてご利用下さい。

連絡先：産業技術総合研究所活断層・火山研究部門 宝田晋治 (s-takarada@aist.go.jp)

謝辞

東・東南アジア地域の大規模降下テフラのデータは、アジア太平洋地域地震火山噴火リスクマネジメント (G-EVER) プロジェクト活動の一環で作成されたものです。本原稿は、産総研活断層・火山研究部門の東宮昭彦氏の査読により大きく改善されました。また、活断層・火山研究部門の古川竜太氏には、いくつかの降下テフラについて、詳しい情報を教えて頂きました。記して感謝申し上げます。

文献

- Acharyya, S.K. and Basu, P.K. (1993) Toba ash on the Indian subcontinent and its implications for correlation of late Pleistocene alluvium. *Quaternary Res.*, 40, 10-19.
- Blong, R., Fallon, S., Wood, R., McKee, C., Chen, K., Magill, C. and Barter, P. (2017) Significance and timing of the mid-17th-century eruption of Long Island, Papua New Guinea. *The Holocene*, doi: 10.1177/0959683617735589
- Carey, S., Sigurdsson, H., Mandeville, C. and Bronto, S. (1996) Pyroclastic flows and surges over water: an example from the 1883 Krakatau eruption. *Bull. Volcanol.*, 57, 493-511.
- Chesner, C.A. and Rose, W.I. (1991) Stratigraphy of the Toba Tuffs and the evolution of the Toba Caldera complex, Sumatra, Indonesia. *Bull. Volcanol.*, 53, 343-356.
- Chun, J-H., Cheong D., Ikehara, K. and Han, S-J. (2007) Age of the SKP-I and SKP-II tephras from the southern East Sea/Japan Sea: implications for interstadial events recorded in sediment from marine isotope stages 3 and 4. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 247, 100-114.
- Francis, P.W. (1985) The origin of the 1883 Krakatau Tsunamis. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 25, 349-363.
- Guillet, S., Corona, C., Stoffel, M., Khodri, M., Lavigne, F., Ortega, P., Eckert, N., Sielenou, P.D., Daux, V., Churakova O.V., Davi, N., Edouard, J-L., Zhang, Y., Luckman, B.H., Myglan, V.S., Guiot, J., Beniston, M., Masson-Delmotte, V. and Oppenheimer, C. (2017) Climate response to the Samalas volcanic eruption in 1257 revealed by proxy records. *Nature Geoscience*, doi: 10.1038/NGEO2875.
- 早川由紀夫・小山真人 (1998) 日本海をはさんで 10 世紀に相次いで起こった二つの大噴火の年月日-十和田湖と白頭山-. 火山, 43, 403-407.
- Heming, R.F. (1974) Geology and Petrology of Rabaul Caldera, Papua New Guinea. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 85, 1253-1264.
- Hide, H., Brotopuspito, K.S., Hadmoko, D.S., Lavigne, F., Airaksinen, K.B., Mutaqin, B.W., Hananto, N.D., Handayani, L., Sudrajat, Y. and Suryanto, W. (2017) The isopach mapping of volcanic deposits of Mount Smalas 1257 AD based on the values of resistivity and physical properties. *Geosciences*, 7, 67; doi:10.3390/geosciences7030067

- Horn, S. and Schminke, H.-U. (2000) Volatile emission during the eruption of Baitoushan Volcano (China/North Korea) ca. 969 AD. *Bull. Volcanol.*, 61, 537-555.
- Kandlbauer, J. and Sparks, R.S.J. (2014) New estimates of the 1985 Tambora eruption volume. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 286, 93-100.
- Knight, M.D., Walker, G.P.L., Ellwood, B.B. and Diehl, J.F. (1986) Stratigraphy, Paleomagnetism, and magnetic fabric of the Toba Tuffs: constraints on the sources and eruptive styles. *Jour. Geophys. Res.*, 91, B10, 10355-10382.
- Koyaguchi, T. (1996) Volume estimation of tephra-fall deposits from the June 15, 1991, eruption of Mount Pinatubo by theoretical and geological methods. In: *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*. Newhall C.G. and Punongbayan R.S. (eds.) Philippine Institute of Volcanology and Seismology and University of Washington Press, 583-600.
- Koyaguchi, T. and Tokuno, M. (1993) Origin of the giant eruption cloud of Pinatubo, June 15, 1991. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 55, 85-96.
- Lavigne, F., Degeai, J-P., Komorowski, J-C., Guillet, S., Robert, V., Lahitte, P., Oppenheimer, C., Stoffel, M., Vidal, C.M., Surono, Pratomo, I., Wassmer, P., Hajdas, I., Hadmoko, D.S. and Belizal, E. (2013) Source of the great A.D. 1257 mystery eruption unveiled, Samalas volcano, Rinjani Volcanic Complex, Indonesia. *PNAS*, doi:10.1073/pnas.1307520110.
- Lee, M-Y., Chen, C-H., Wei, K-Y., Lizuka, Y. and Carey, S. (2004) First Toba supereruption revival. *Geology*, 61-64.
- Lim, C., Kim, S. and Lee, C. (2014) Geochemical fingerprint of the primary magma composition in the marine tephras originated from the Baegdusan and Ulleung volcanoes. *J. Asian Earth Sciences*, 95, 266-273.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編 火山灰アトラス -日本列島とその周辺-. 東京大学出版会. 336p.
- 町田 洋・新井房夫・李 柄高・森脇 広・古田 俊夫 (1984) 韓国鬱陵島のテフラ. 地学雑誌, 93, 1-14.
- Machida, H., Moriwaki, H. and Zhao, D. (1990) The recent major eruption of Changbai volcano and its environment effects. *Geographic reports of Tokyo Metropolitan University*, 25, 1-20.
- Machida, H., Blong, R.J., Specht, J., Moriwaki, H., Torrence, R., Hayakawa, Y., Talai, B., Lolok, D. and Pain, C.F. (1996) Holocene explosive eruptions of Witori and Dakataua Caldera volcanoes in west New Britain, Papua New Guinea. *Quaternary International*, 34-36, 65-78.
- Mark, D.F., Renne, P.R., Dymock, R.C., Smith, C., Simon, J.I., Morgan, L.E., Staff, R.A., Ellis, B.S. and Pearce, N.J.G. (2017) High-precision $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of Pleistocene tuffs and temporal anchoring of the Matuyama-Brunhes boundary. *Quaternary Geochronology*, 39, 1-23.
- McKee, C.O., Johnson, R.W., Lowenstein, P.L., Riley S.J., Blong, R.J., De Saint Ours, P. and Talai, B. (1985) Rabaul caldera, Papua New Guinea: Volcanic hazards, surveillance, and eruption contingency planning. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 23, 195-237.
- McKee, C.O., Neall, V.E. and Torrence, R. (2011) A remarkable pulse of large-scale volcanism on New Britain Island, Papua New Guinea. *Bull. Volcanol.*, 73, 27-37.
- McKee C.O., Baillie, M.G. and Reimer, P.J. (2015) A revised age of AD 667-699 for the latest major eruption at Rabaul. *Bull. Volcanol.*, doi: 10.1007/s00445-015-0954-7
- Métrich, N., Vidal, C.M., Komorowski, J-C., Paratomo, I., Michel, A., Kartadinata, N., Prambada, O., Rachmat, H. and Surono (2017) New insights into magma differentiation and storage in Holocene crustal reservoirs of the Lesser Sunda Arc: the Rinjani-Samalas Volcanic Complex (Lombok, Indonesia). *J. Petrology*, 58, 2257-2284. doi: 10.1093/petrology/egy006.
- Mutaqin, B.W., Lavigne, F., Sudrajat, Y., Handayani, L., Lahitte, P., Virmoux, C., Hiden, Hadmoko, D.S., Komorowski, J.C., Hananto, N.D., Wassmer, P., Hartono and Baillot-Airaksnen, K. (2019) Landscape evolution on the eastern part of Lombok (Indonesia) related to the 1257 CE eruption of the Samalas Volcano. *Geomorphology*, 327, 338-350.

- Nairn, I.A., McKee, C.O., Talai, B. and Wood, C.P. (1995) Geology and eruptive history of the Rabaul Caldera area, Papua New Guinea. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 69, 255-284.
- Newhall, C.G. and Self S. (1982) The volcanic explosive index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *J. Geophys. Res.*, 87, 1231-1238.
- Ninkovich, D., Shackleton, N.J., Abdel-Monem, A.A., Obradovich, J.D. and Izett, G. (1978a) K-Ar age of the late Pleistocene eruption of Toba, north Sumatra. *Nature*, 276, 574-577.
- Ninkovich, D., Sparks, R.S.J., Ledbetter, M.T. (1978b) The exceptional magnitude and intensity of the Toba eruption, Sumatra: an example of the use of deep-sea tephra layers, as a geological tool. *Bull. Volcanol.*, 41, 286-298.
- Oppenheimer, C. (2002) Limited global change due to the largest known Quaternary eruption, Toba ~74kyr BP? *Quaternary Science Reviews*, 21, 1593-1609.
- Oppenheimer, C. (2003) Ice core and paleoclimatic evidence for the timing and nature of the great mid-13th century volcanic eruption. *Int. J. Climatology*, 23, 417-426.
- Oppenheimer, C., Wacker, L., Xu, J., Galvan, J.D., Stoffel, M., Guillet, S., Corona, C., Sigl, M., Cosmo, N.D., Hajdas, I., Pan, B., Breuker, R., Schneider, L., Esper J., Fei, J., Hammond, J.O.S., and Büntgen, U. (2017) Multi-proxy dating the 'Millennium Eruption' of Changbaishan to late 946CE. *Quaternary Science Review*, 158, 164-171.
- Pain, C.F., Blong, R.J. and McKee, C.O. (1981) Pyroclastic deposits and eruptive sequences of Long Island. In Cooke-Ravain Volume of Volcanological Papers (ed. R.W. Johnson). *Geological Survey of Papua New Guinea Memoir*, 10, 101-113.
- Paladio-Melosantos, M.L.O., Solidum, R.U., Scott, W.E., Quiambao, R.B., Umbal, J.V., Rodolfo, K.S., Tubaianosa, B.S., Delos Reyes, P.J., Alonso, R.A. and Ruelo, H.B. (1996) Tephra falls of the 1991 eruptions of Mount Pinatubo. In: *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*. Newhall C.G. and Punongbayan R.S. (eds.) Philippine Institute of Volcanology and Seismology and University of Washington Press, 513-535.
- Park, M-H., Kim, J-H. and Kil, Y-W. (2007) Identification of the late Quaternary tephra layers in the Ulleung Basin of the East Sea using geochemical and statistical methods. *Marine Geology*, 244, 196-208.
- Reubi, O. and Nicholls, I.A. (2004) Variability in eruptive dynamics associated with caldera collapse: an example from two successive eruptions at Batur volcanic field, Bali, Indonesia. *Bull. Volcanol.*, 66, 134-148.
- Rose, W.I. and Chesner, C.A. (1987) Dispersal of ash in the great Toba eruption, 75 ka. *Geology*, 15, 913-917.
- Scott, W.E., Hoblitt, R.P., Torres, R.C., Self, S., Martinez, M.L. and Nillos, T. (1996) Pyroclastic flows of the June 15, 1991, climactic eruption of Mount Pinatubo. In: *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*. Newhall C.G. and Punongbayan R.S. (eds.) Philippine Institute of Volcanology and Seismology and University of Washington Press, 545-570.
- Self, S. (2006) The effects and consequences of very large explosive volcanic eruptions. *Phil. Trans. R. Soc. A.*, doi: 10.1098/rsta.2006.1814.
- Self, S. and Rampino, M.R. (1981) The 1883 eruption of Krakatau. *Nature*, 294, 699-704.
- Self, S., Rampino, M.R., Newton, M.S. and Wolff, J.A. (1984) Volcanological study of the great Tambora eruption of 1815. *Geology*, 12, 659-663.
- Self, S., Gertisser, R., Thordarson, T., Rampino, M.R. and Wolff, J.A. (2004) Magma volume, volatile emissions, and stratospheric aerosols from the 1815 eruption of Tambora. *Geophys. Res. Letters*, doi: 10.1029/2004GL020925.
- Siebert, L., Simkin, T., Kimberly, P. (2010) *Volcanoes of the World, third edition*, University of California Press, 551p.
- Sigurdsson, H. and Carey, S. (1989) Plinian and co-ignimbrite tephra fall from the 1815 eruption of Tambora volcano. *Bull. Volcanol.*, 51, 243-270.
- Simkin, T. and Fiske, R.S. (1983) *Krakatau 1883 -The volcanic eruption and its effects-*. Smithsonian Institution Press., 464p.

- Stoffel, M., Khodri, M., Corona, C., Guillet, S., Paulain, V., Bekki, S., Guiot, J., Luckman, B.H., Oppenheimer, C., Lebas, N., Beniston M. and Masson-Delmotte, V. (2015) Estimates of volcanic-induced cooling in the northern hemisphere over the past 1,500 years. *Nature Geoscience*, doi: 10.1038/NGEO2526.
- Storey, M., Roberts, R. and Saidin, M. (2012) Astromically calibrated $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age for the Toba supereruption and global synchronization of late Quaternary records. *PNAS*, doi: 10.1073/pnas.1208178109.
- Takarada, S., Ishikawa, Y., Maruyama, T., Yoshimi, M., Matsumoto, D., Furukawa, R., Teraoka, Y., Bandibas, J.C., Kuwahara, Y., Azuma, T., Takada, A., Okumura, K., Koizumi, N., Tsukuda, E., Solidum, RU., Daag, AS., Cahulogan, M., Hidayati, S., Andreastuti, S., Li, X., Nguyen, H.P., Lin, C-H. (2016) Eastern Asia Earthquake and Volcanic Hazards Information Map. Geological Survey of Japan, AIST.
- Torres, R.C., Self, S., Punongbayan, R.S. (1995) Attention focuses on Taal: Decade volcano of the Philippines. *EOS*, 76, 241-248.
- Verbeek, R.D.M. (1884) The Krakatoa eruption. *Nature*, 30, 10-15.
- Verbeek, R.D.M. (1885) *Krakatau*. Batavia: Landsdrukkerij, 495p.
- Vidal, C.M., Komorowski, J.C., Métrich, N., Pratomo, I., Kartadinata, N., Prambada, O., Michel A., Carazzo, G., Lavigne, F., Rodysill, J., Fontijn, K. and Surono (2015) Dynamics of the major plinian eruption of Samalas in 1257 A.D. (Lombok, Indonesia). *Bull. Volcanol.*, 77, doi:10.1007/s00445-015-0960-9
- Vidal, C.M., Métrich, N., Komorowski, J.C., Pratomo, I., Michel A., Kartadinata, N., Robert, V. and Lavigne, F. (2016) The 1257 Samalas eruption (Lombok, Indonesia): the single greatest stratospheric gas release of the Common Era. *Nature Scientific Reports*, 6:34868, doi: 10.1038/srep34868
- Wadge, G., McCormick Kilbride, B.T., Mdmonds, M. and Johnson, R.W. (2018) Persistent growth of a young andesite lava cone: Bagana volcano, Papua New Guinea. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 356, 204-315.
- Walker, G.P.L. (1983) Ignimbrite types and ignimbrite problems. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 17, 65-88.
- Walker, G.P.L., Heming, R.F., Sprod, T.J. and Walker, H.R. (1981) Latest major eruptions of Rabaul volcano. In Cooke-Ravian Volume of Volcanological Papers, R.W. Johnson, eds., *Geological Survey of Papua New Guinea Memoir*, 10, 181-193.
- Wei, H. and Liu, G. and Gill, J. (2013) Review of eruptive activity at Tianchi volcano, Changbaishan, northeast China: implications for possible future eruptions. *Bull. Volcanol.*, doi:10.1007/s00445-013-0706-5.
- Wolfe, E.W. and Hoblitt, R.P. (1996) Overview of the Eruptions. In: *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*. Newhall C.G. and Punongbayan R.S. (eds.) Philippine Institute of Volcanology and Seismology and University of Washington Press, 3-20.
- Yatsuzuka, S., Okuno, M., Nakamura, T., Kimura, K., Setoma, Y., Miyamoto, T., Kim, K.H., Moriwaki, H., Nagase, T., Jin, S., Jin, B.L., Takahashi, T. and Taniguchi, H. (2010) ^{14}C Wiggle-matching of the B-Tm Tephra, Baitoushan Volcano, China/North Korea. *Radiocarbon*, 52, 933-940.