

## 東・東南アジア地域の大規模火砕流堆積物の分布

-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 3/7 -

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 ignimbrites in East and Southeast Asia: Data of G-EVER Asia-Pacific Region Earthquake and Volcanic Hazards Information System 3/7. Open-File Report of the Geological Survey of Japan, AIST, no. 683, p. 1-30.

### Abstract

東・東南アジア地域に分布する大規模火砕流堆積物の分布を GIS データとして取りまとめた。ここでは、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、阿蘇 4 噴火、阿蘇 3 噴火、始良-入戸噴火、鬼界-幸屋噴火、鬼界-長瀬噴火、阿多噴火、洞爺噴火、支笏 4.6 万年前噴火、屈斜路 I 噴火、屈斜路 IV 噴火、クラカタウ 1883 年噴火、バツール 2 万年前噴火、バツール 2.9 万年前噴火、ラバウル 7 世紀噴火、ウィトリ-キンベ 2 噴火、ピナツボ 1991 年噴火、ウルルン-隠岐噴火、摩周 7.5 ka 噴火、濁川 1.5 万年前噴火、十和田-八戸噴火による 24 の火砕流堆積物について取りまとめている。

The distribution of large-scale ignimbrites in East and Southeast Asia are compiled and GIS data are provided. Ignimbrites data are obtained from 24 volcanic caldera-forming eruptions in the region such as Toba 74 ka eruption, Changbaishan 946AD eruption, Tambora 1815AD eruption, Rinjani-Samalas 1257AD eruption, Aso-4 eruption, Aso-3 eruption, Aira-Ito eruption, Kikai-Koya eruption, Kikai-Nagase eruption, Ata eruption, Toya eruption, Shikotsu 4.6 ka eruption, Kutcharo I eruption, Kutcharo IV eruption, Krakatau 1883AD eruption, Batur 20 ka eruption, Batur 29 ka eruption, Rabaul 7c eruption, Witori-Kimbe2 eruption, Pinatubo 1991AD eruption, Ulleung-Okie eruption, Mashu 7.5 ka eruption, Nigorikawa 14.3 ka eruption and Towada-Hachinohe eruption.

### 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 km<sup>3</sup> 以上の火砕物が一気に地表に噴出し、火砕流となって広範囲に周辺地域を流走し、噴出源から数 10 $\sim$ 100 km 以上離れた地域に影響を与えることが多い。こうした巨大・大規模噴火の影響範囲は、今後の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 km<sup>3</sup> 以上) の主要な 12 の大規模火砕流堆積物分布の概略を示した. 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 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、123 ka 以降の VEI7 以上の噴火、及び 15.5 ka 以降の VEI6 の噴火で発生した 24 の火砕流堆積物を取り上げた (表 1). ここでは、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、阿蘇 4 噴火、阿蘇 3 噴火、始良-入戸噴火、鬼界-幸屋噴火、鬼界-長瀬噴火、阿多噴火、洞爺噴火、支笏 4.6 万年前噴火、屈斜路 I 噴火、屈斜路 IV 噴火、クラカタウ 1883 年噴火、バツール 2 万年噴火、バツール 2.9 万年前噴火、ラバウル 7 世紀噴火、ウイトリ-キンベ 2 噴火、ピナツボ 1991 年噴火、ウルルン-隠岐噴火、摩周 7.5 ka 噴火、濁川 14.6 ka 噴火、十和田-八戸噴火による火砕流堆積物について、分布域の GIS データの作成を行った. ただし、123 ka 以降の VEI7 及び 15.5 ka 以降の VEI6 の噴火による火砕流堆積物には、タール 27 ka 及び 5.4 ka 噴火 (Torres et al., 1995), ピナツボ 81 ka 噴火 (Ku et al., 2008), ロングアイランド 1660 年噴火 (Blong et al., 2017), ダカタウア 7 世紀噴火 (McKee et al., 2011; Machida et al., 1996), ビリーミッチェル 1580 年噴火 (Wadge et al., 2018), ウイトリ-キンベ 1, ウイトリ-ガリロ噴火 (Machida et al., 1996; McKee et al., 2011), 屈斜路 II/III 噴火 (90 ka; 勝井・佐藤, 1963; Hasegawa et al., 2016), 萌消 11 ka 噴火 による堆積物が含まれるが、これらの分布の詳細は文献等では不明であったため、ここでは示していない. 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火砕流堆積物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

**表 1.** 123 ka 以降の VEI7 以上の噴火、及び 15.5ka 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, ●: 分布の詳細が文献では不明であったため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 123 ka and VEI6 eruptions after 15.5 ka (after Siebert et al., 2010). Open circle: described in this open-file report, Closed circle: not described in this report because detailed distribution references were not available. 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	Rygang, 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	Aso Caldera	Aso-4 eruption	89 ka	7	Kyushu, Japan	○
6	Aso Caldera	Aso-3 eruption	123 ka	7	Kyushu, Japan	○
7	Aira Caldera	Aira-Ito eruption	30 cal ka	7	Kyushu, Japan	○
8	Kikai Caldera	Kikai-Koya eruption	7.3 ka	7	Kyushu, Japan	○
9	Kikai Caldera	Kikai-Nagase eruption	95 ka	7	Kyushu, Japan	○
10	Ata Caldera	Ata eruption	108 ka	7	Kyushu, Japan	○
11	Toya Caldera	Toya eruption	106 ka	7	Hokkaido, Japan	○
12	Shikotsu Caldera	Shikotsu 46ka eruption	46 cal ka	7	Hokkaido, Japan	○
13	Kutcharo Caldera	Kutcharo I eruption	40 cal ka	7	Hokkaido, Japan	○
14	Kutcharo Caldera	Kutcharo IV eruption	120 ka	7	Hokkaido, Japan	○
15	Krakatau Caldera	Krakatau 1883AD eruption	1883 AD	6	Sunda Strait, Indonesia	○
16	Batur Caldera	Batur 20ka eruption	20 ka	6	Bali, Indonesia	○
17	Batur Caldera	Batur 29ka eruption	29 ka	6	Bali, Indonesia	○
18	Rabaul Caldera	Rabaul 7c eruption	681-684 AD	6	East New Britain, Papua New Guinea	○
19	Witori Caldera	Witori-Kimbe 2 eruption	3.3 Ka	6	New Britain, Papua New Guinea	○
20	Pinatubo volcano	Pinatubo 1991AD eruption	1991 AD	6	Luzon, Philippines	○
21	Ulleung volcano	Ulleung-OkI eruption	10.2 cal ka	6	Eastward offshore of Korea	○
22	Mashu Caldera	Mashu 7.5ka eruption	7.5 cal ka	6	Hokkaido, Japan	○
23	Nigorikawa Caldera	Nigorikawa 14.6ka eruption	14.6 cal ka	6	Hokkaido, Japan	○
24	Towada Caldera	Towada-Hachinohe eruption	15.5 cal ka	6	Tohoku, Japan	○
25	Pinatubo volcano	Pinatubo 81ka eruption	81 ka	7	Luzon, Philippines	●
26	Kutcharo Caldera	Kutcharo II-III eruption	90 ka	7	Hokkaido, Japan	●
27	Long Island	Long Island 1660AD eruption	1660 AD	6	Vitiaz Strait, Papua New Guinea	●
28	Dakataua	Dakataua 1.4ka eruption	1.4 ka	6	New Britain Island, Papua New Guinea	●
29	Witori	Witori-Galilo eruption	1.2 ka	6	New Britain Island, Papua New Guinea	●
30	Witori	Witori-Kimbe 1 eruption	5.6 ka	6	New Britain Island, Papua New Guinea	●
31	Billy Mitchell	Billy Mitchell 1580AD eruption	1580 AD	6	Bougainville Island, Papua New Guinea	●
32	Moekeshi	Moekeshi 11ka eruption	11 cal ka	6	Iturup Island, Japan	●

新たに追加している。東南アジア地域の大規模火砕流堆積物は、詳細な分布の調査があまり進んでいないのが現状である。大規模火砕流の影響範囲の評価等に利用して頂ければ幸いである。各火山の位置を、図 1, 2 に示す。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。

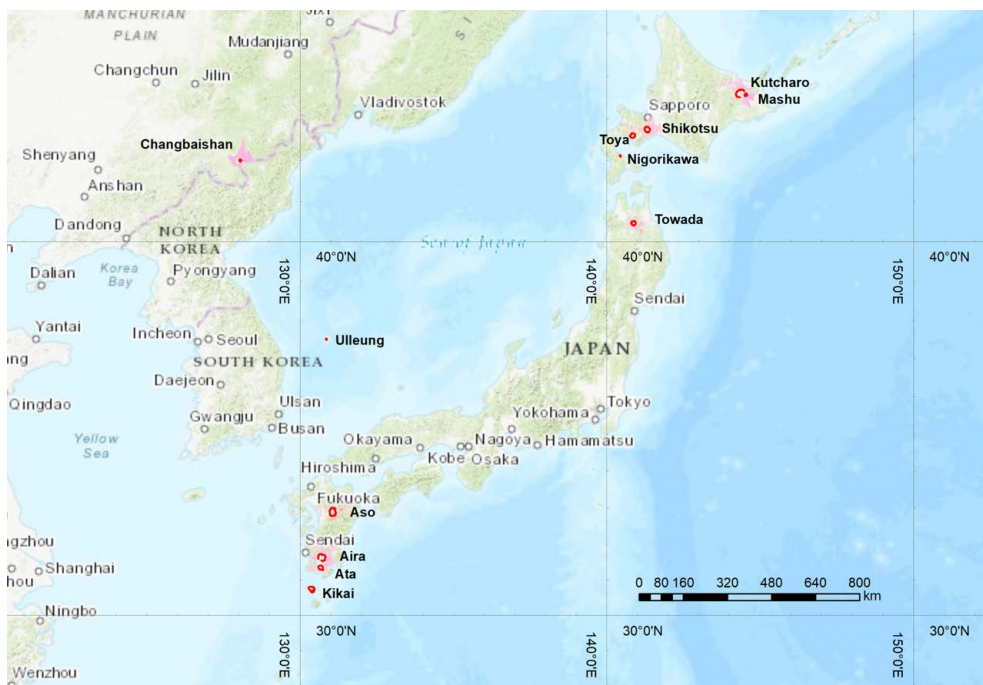


図 1. 火砕流堆積物分布域を示した各火山の位置図（日本周辺地域）。赤いラインはカルデラ縁の概形を示す（以下同様）。火砕流堆積物の分布域を薄桃色～橙色系統の色で示している（以下同様）。地形図は ESRI 社の ArcGIS ソフトのベースマップを利用。

**Fig. 1.** Distribution of volcanoes in this report (Japan and surroundings area). Red line indicates the location of caldera rim. The distributions of ignimbrites are shown in light-pink and light-orange colored area (same on the following figures). Base map provided by the ESRI ArcGIS software is used.



図 2. 火砕流堆積物の分布域を示した各火山の位置図（フィリピン、インドネシア、パプアニューギニア周辺地域）。地形図は ArcGIS のベースマップを利用。

**Fig. 2.** Distribution of volcanoes in this report (Indonesia, Philippines and Papua New Guinea area). Base map provided by the ArcGIS software is used.

## 2. 手法

東・東南アジア地域の 123 ka 以降の VEI7 以上の噴火、及び 15.5 ka 以降の VEI6 の噴火で発生した 24 の火砕流堆積物について、文献調査を行い、分布域を GIS データとしてとりまとめた。基本的には文献や地質図に掲載されている火砕流の分布域をトレースしている。しかし、複数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、分布域を示している。分布図の解像度は、文献や地質図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。引用した文献では、基本的には層厚数 m 以上の比較的厚い火砕流堆積物の分布が示されており、より遠方や高所などに分布する比較的薄い火砕流堆積物は表現されていないので、注意が必要である。

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 (km<sup>3</sup>) を示した。

## 3. 火砕流堆積物の概要

### 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 万年前に、Youngest Toba Tuff (YTT) 火砕流が発生 (Knight et al., 1986; Acharyya and Basu, 1993) し、カルデラ周辺では、広く火砕流堆積物が分布している (図 3; Aldiss et al., 1983; Clark et al., 1982; Cameron et al., 1981, 1982; Aspden et al., 1982)。火砕流に伴う降下テフラは北西方向に広がり、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 (Acharyya and Basu, 1993; Ninkovich et al., 1978)。総噴出量は、2,800 km<sup>3</sup> (VEI=8)と見積もられている (Rose and Chesner, 1987; Chesner and Rose, 1991)。噴火年代としては、73.7±0.3 ka (Mark et al., 2017), 73.88±0.32 ka (Storey et al., 2012) の <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年代値が得られており、約 7.4ka と考えられる。ここでは、インドネシアの 25 万分の 1 地質図 (Aldiss et al., 1983; Clark et al., 1982; Cameron et al., 1981, 1982; Aspden et al., 1982) に基づいて、分布の概略を編集の上示している。ただし、25 万分の 1 地質図のスケールでは、下位の Middle Toba Tuff (MTT; 0.50Ma; 約 60 km<sup>3</sup>; Chesner and Rose, 1991) や Oldest Toba Tuff (OTT; 0.84 Ma; 約 500km<sup>3</sup>; Knight et al., 1986; Chesner and Rose, 1991) が区分されていないことに注意が必要である。

### 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、火砕流が発生し、火山体周辺に火砕流堆積物が分布している (図 4; Machida et al., 1990; Horn and Schminke, 2000; Wei et al., 2013; 宮本ほか, 2004)。この噴火による降下テフラは、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 (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 <sup>14</sup>C スパイク年代決定法や埋没樹木を用いた <sup>14</sup>C 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、降下テフラが 63–100 km<sup>3</sup> (Horn and Schminke, 2000)、火砕流堆積物が 20 km<sup>3</sup> 以上 (宮本ほか, 2004) と見積もられており、100 km<sup>3</sup> 以上 (VEI=7; Wei et al., 2013) と考えられる。火砕流堆積物の分布図は、宮本ほか (2004)、

Machida et al. (1990), Horn and Schminke (2000), Wei et al. (2013) の分布域を参考に、編集の上示している.

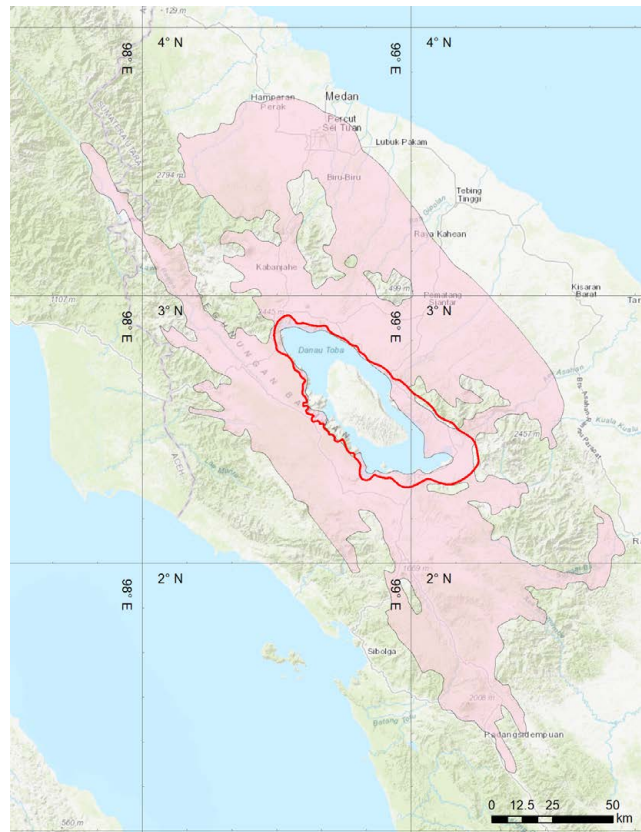


図 3. トバ 7.4 万年前噴火の火砕流堆積物の分布 (Aldiss et al., 1983; Clark et al., 1982; Cameron et al., 1981, 1982; Aspdén et al., 1982). 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

**Fig. 3.** Distribution of ignimbrite derived from the 74ka Toba eruption (Aldiss et al., 1983; Clark et al., 1982; Cameron et al., 1981, 1982; Aspdén et al., 1982). Base map provided by the ArcGIS software is used.

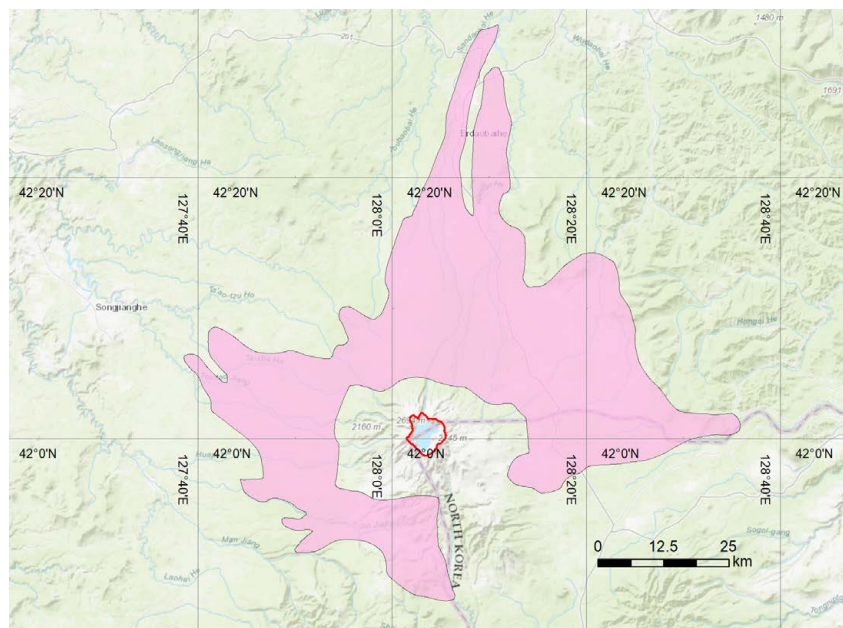


図 4. 白頭山 946 年噴火の火砕流堆積物の分布 (宮本ほか, 2004; Machida et al., 1990; Horn and Schminke, 2000; Wei et al., 2013). 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

**Fig. 4.** Distribution of ignimbrite derived from the Changbaishan 946AD eruption (Miyamoto et al., 2004; Machida et al., 1990; Horn and Schminke, 2000; Wei et al., 2013). 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、山体周辺に広く火砕流堆積物が分布している (図 5; Self et al., 1984; Sigurdsson and Carey, 1989). 噴火に伴う降下テフラは、西方、北方、東方に広く分布している (Self et al., 1984; Sigurdsson and Carey, 1989). この噴火では、火砕流により約 1,1000 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  $110 \text{ km}^3$  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). 火砕流堆積物の分布図は、Sigurdsson and Carey (1989) と Self et al. (1984) の分布を参考に、編集の上陸域の分布を示している.

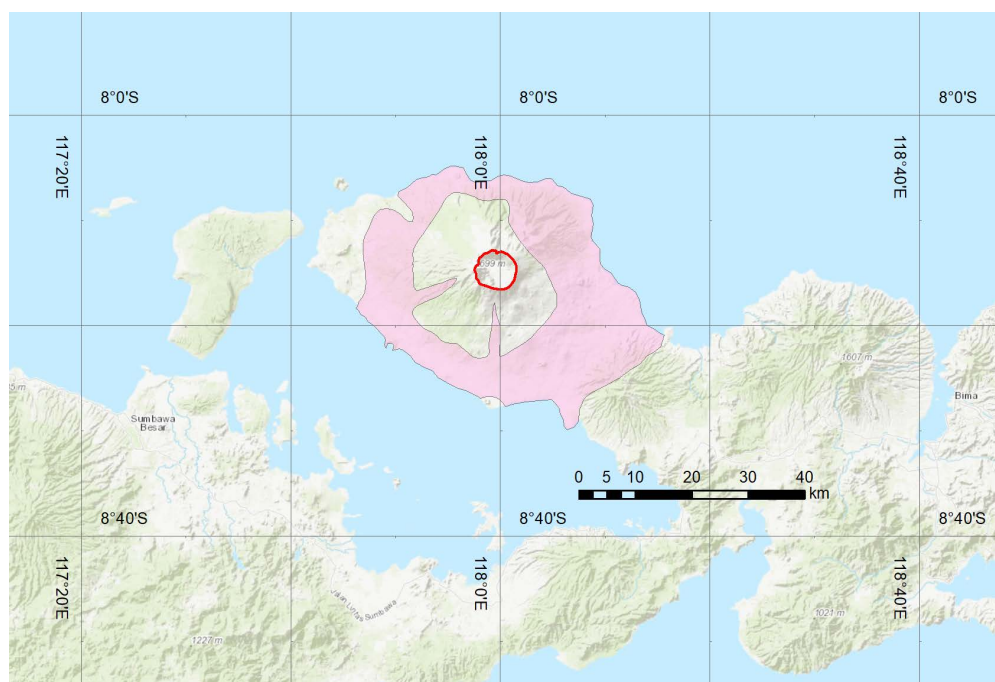


図 5. タンボラ 1815 年噴火の火砕流堆積物の分布 (Sigurdsson and Carey, 1989; Self et al., 1984). 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

**Fig. 5.** Distribution of ignimbrite derived from the Tambora 1815AD eruption (Sigurdsson and Carey, 1989; Self et al., 1984). Base map provided by the ArcGIS software is used.

### 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、山体の北部、南東部、南西部方向に火砕流堆積物が広く分布している (図 6; Vidal et al., 2015, 2016; Lavigne et al., 2013). この噴火に伴う降下テフラは、西方に広く分布している (Vidal et al., 2015, 2016; Lavigne et al., 2013; Métrich et al., 2017; Hiden et al., 2017; Mutaquin et al., 2019). この噴火の噴出量は、約  $100 \text{ km}^3$  ( $40 \text{ km}^3$  DRE) 以上と見積もられている (VEI=7; Lavigne et al., 2013; Vidal et al., 2015). 火砕流堆積物の層厚は平均 18-23 m 程度であり、陸上部分の体積は、約  $29 \text{ km}^3$  と見積もられている (Vidal et al., 2015). しかし、海域の火砕流堆積物の体積は不明である. この噴火では、降下テフラにより、世界的な異常気象を引き起こしており (Stoffel et al., 2015; Guillet et al., 2017), アイスコアの対比や  $^{14}\text{C}$  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). 火砕流堆積物の分布は、Vidal et al. (2015), Lavigne et al. (2013) を参照し、編集の上作成している.

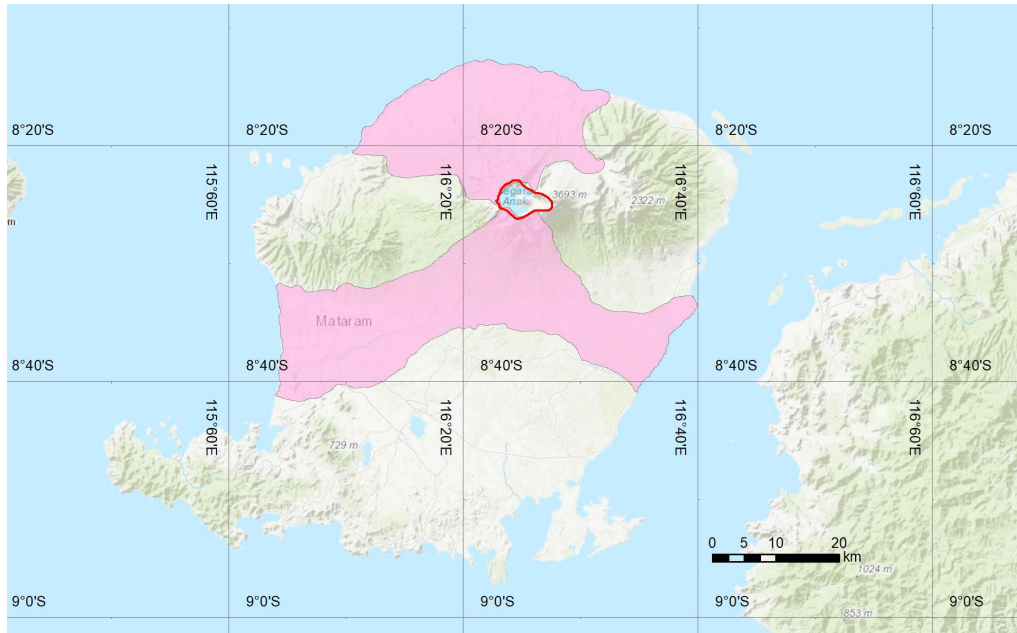


図 6. リンジャニ・サマラス 1257 年噴火の火砕流堆積物の分布 (Vidal et al., 2015; Lavigne et al., 2013). 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

Fig. 6. Distribution of ignimbrite derived from the Rinjani-Samalas 1257AD eruption (Vidal et al., 2015; Lavigne et al., 2013). Base map provided by the ArcGIS software is used.

### 3-5. 阿蘇 4 噴火 (VEI=7)

九州北部の阿蘇カルデラでは、約 89 ka に阿蘇 4 (Aso-4) 火砕流が発生し、最大で給源から 160km 以上の距離まで火砕流が到達し、九州北部と山口西部地域に渡り、広く火砕流堆積物が分布している (図 7; 小野ほか, 1977; 小野・渡辺, 1985; 町田・新井, 2003; 宝田・星住, 2016). 噴火に伴う降下テフラは、広く日本や周辺海域に分布しており、日本全域の鍵層となっている (町田ほか, 1985; Aoki, 2008; 町田・新井, 2003). この噴火の噴出量は、全体で 600 km<sup>3</sup> 以上と見積もられている (VEI=7; 町田・新井, 2003). 最近では、火砕流堆積物の分布・層厚のより詳細な復元により、火砕流堆積物だけで、530~270 km<sup>3</sup> (溶岩換算値 DRE; 宝田ほか, 2017) という推定値が得られている. したがって、降下テフラを加えると VEI=8 に達する可能性がある. 噴出年代は、89 ± 7 ka (K-Ar 年代; 松本ほか, 1991; 松本, 1996) や 85~90 ka の推定値 (町田・新井, 2003) が示されており、ここでは約 89 ka としておく. 阿蘇 4 火砕流堆積物の分布図は、20 万分の 1 地質図幅「熊本」(星住ほか, 2004), 「大分(第 2 版)」(星住ほか, 2015), 「中津」(石塚ほか, 2009), 「福岡」(久保ほか, 1993), 「山口及び見島」(松浦ほか, 2007), 「八代」(斎藤ほか, 2010), 「延岡」(寺岡ほか, 1981) を参照し、編集の上作成している.

### 3-6. 阿蘇 3 噴火 (VEI=7)

九州北部の阿蘇カルデラでは、約 123 ka に阿蘇 3 (Aso-3) 火砕流が発生し、九州北部地域に広く火砕流堆積物が分布している (図 8; 小野ほか, 1977; 小野・渡辺, 1985; 町田・新井, 2003). 噴火に伴う降下テフラは、西日本や中部地域に分布している (町田・新井, 1994; Machida, 1999; 町田・新井, 2003). この噴火の噴出量は、全体で 150 km<sup>3</sup> 以上と見積もられている (VEI=7; 町田・新井, 2003). 噴出年代は、123 ± 6 ka (K-Ar 年代; 松本ほか, 1991; 松本, 1996) や 120 ka 前後の推定値 (町田・新井, 2003) が示されており、ここでは、松本ほか (1991) に従い、約 123 ka としておく. 阿蘇 3 火砕流堆積物の分布図は、20 万分の 1 地質図幅「熊本」(星住ほか, 2004), 「大分(第 2 版)」(星住ほか, 2015), 「中津」(石塚ほか, 2009), 「八代」(斎藤ほか, 2010), 「延岡」(寺岡ほか, 1981) を参照し、編集の上作成している.



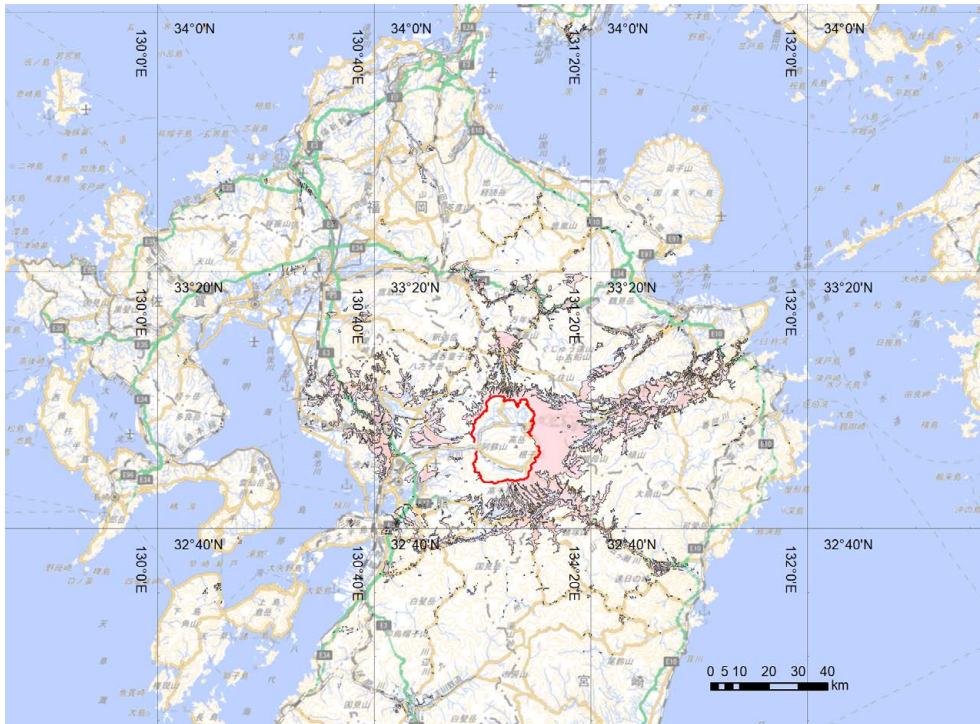


図 7. 阿蘇 4 噴火の火砕流堆積物の分布 (星住ほか, 2004, 2015; 石塚ほか, 2009; 久保ほか, 1993; 松浦ほか, 2007; 斎藤ほか, 2010; 寺岡ほか, 1981). 地形図は地理院地図 WMTS 版の淡色地図を利用.

**Fig. 7.** Distribution of ignimbrite derived from the Aso-4 eruption (Hoshizumi et al. 2004, 2015; Ishizuka et al. 2009; Kubo et al., 1993; Matsuura et al. 2007; Saito et al. 2010; Teraoka et al., 1981). The Geospatial Information Authority of Japan (GSI) Tile Map (light-colored map) is used as base map.

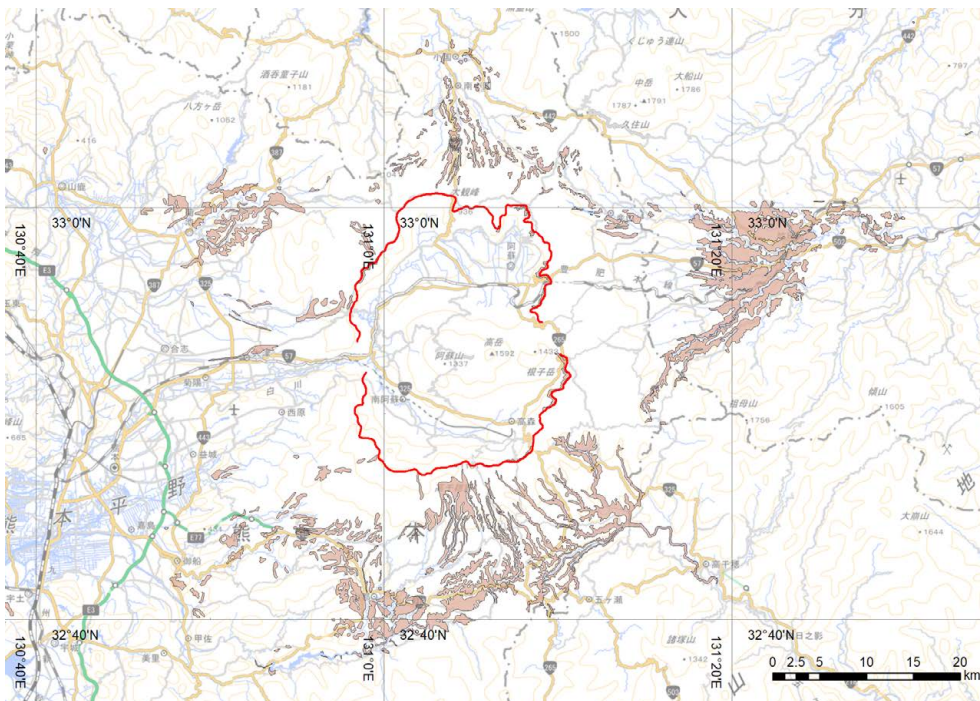


図 8. 阿蘇 3 噴火の火砕流堆積物の分布 (星住ほか, 2004, 2015; 石塚ほか, 2009; 斎藤ほか, 2010). 地形図は地理院地図 WMTS 版の淡色地図を利用.

**Fig. 8.** Distribution of ignimbrite derived from the Aso-3 eruption (Hoshizumi et al., 2004, 2015; Ishizuka et al., 2009; Saito et al., 2010). The GSI Tile Map (light-colored map) is used as base map.



### 3-7. 始良-入戸噴火 (VEI=7)

九州南部の始良カルデラでは、約 30 cal ka に大隅降下軽石、妻屋火砕流、入戸火砕流が発生し、九州南部地域に広く火砕流堆積物が分布している（図 9; 横山, 1970; Aramaki, 1984; 町田・新井, 2003; 長岡ほか, 2001). 噴火に伴う降下テフラ (始良 Tn テフラ) は、本州以南や周辺海域に広く分布しており、国内のよい鍵層となっている（町田・新井, 2003; 長岡ほか, 2001; Smith et al., 2013). この噴火の噴出量は、全体で 450 km<sup>3</sup> 以上と見積もられている (VEI=7; 町田・新井, 2003). 最近では、火砕流堆積物の分布・層厚のより詳細な復元により、火砕流堆積物だけで、500~600 km<sup>3</sup> (宝田ほか, 2017) という推定値が得られている. 噴火年代は、水月湖の降下テフラの検討から、29,428-30,148 cal BP (Smith et al., 2013) という年代値が得られている. 入戸火砕流堆積物の分布図は、20 万分の 1 地質図幅「鹿児島」(宇都ほか, 1997), 「宮崎」(斎藤ほか, 1997), 「八代」(斎藤ほか, 2010), 「延岡」(寺岡ほか, 1981) を参照し、編集の上作成している.

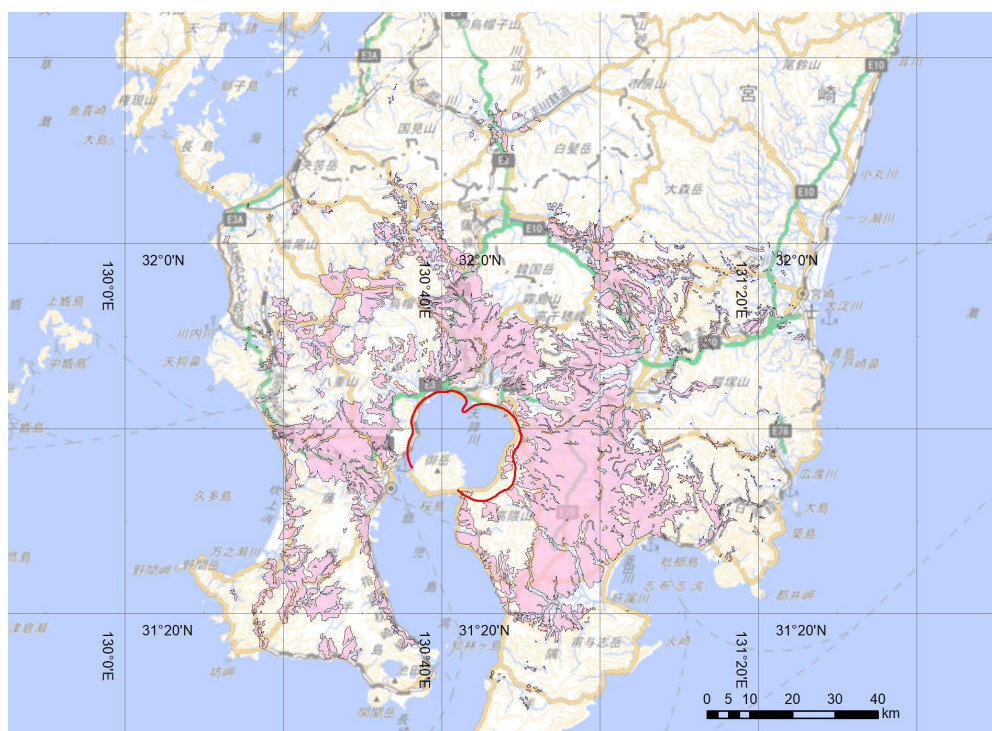


図 9. 始良-入戸噴火の火砕流堆積物の分布 (宇都ほか, 1997; 斎藤ほか, 1997; 川辺ほか, 2004; 斎藤ほか, 2010; 寺岡ほか, 1981). 地形図は地理院地図 WMTS 版の淡色地図を利用.

Fig. 9. Distribution of ignimbrite derived from the Aira-Ito eruption (Uto et al., 1997; Saito et al., 1997; Kawanabe et al., 2004; Saito et al., 2010; Teraoka et al., 1981). The GSI Tile Map (light-colored map) is used as base map.

### 3-8. 鬼界-幸屋噴火 (VEI=7)

九州南方海域の鬼界カルデラでは、約 7.3 cal ka に幸屋(竹島)火砕流が発生し、九州南部、種子島、屋久島、竹島、薩摩硫黄島等に火砕流堆積物が分布している（図 10; Maeno and Taniguchi, 2007, 2009; 宇井, 1973; Ui et al., 1989; 下司, 2009; 町田・新井, 2003). 噴火に伴う降下テフラ (鬼界アカホヤテフラ) は、西日本・中部地域や周辺海域に広く分布している（町田・新井, 1978, 2003). この噴火の噴出量は、幸屋火砕流堆積物が 30-40 km<sup>3</sup> (Maeno and Taniguchi, 2007), 鬼界アカホヤテフラが約 100 km<sup>3</sup> 以上 (町田・新井, 1978, 2003), 全体で 130~140 km<sup>3</sup> 以上と見積もられている (VEI=7). 噴火年代は、水月湖のコアの年縞計測から、噴火年代は、水月湖のコアの年縞計測から、7,325 BP (福沢, 1995) と 7,165-7,303 cal BP (Smith et al. 2013) の年代値が得られており、約 7.3 cal ka としておく. 幸屋火砕流堆積物の分布図は、20

万分の1地質図幅「開聞岳及び黒島の一部」(川辺ほか, 2004)や「屋久島」(斎藤ほか, 2007)を参照し, 編集の上作成している。



図 10. 鬼界-幸屋噴火の火砕流堆積物の分布 (川辺ほか, 2004; 斎藤ほか, 2007). 地形図は地理院地図 WMTS 版の淡色地図を利用。

Fig. 10. Distribution of ignimbrite derived from the Kikai-Koya eruption (Kawanabe et al., 2004; Saito et al., 2007). The GSI Tile Map (light-colored map) is used as base map.

### 3-9. 鬼界-長瀬噴火 (VEI=7)

九州南方海域の鬼界カルデラでは, 約 95 ka に長瀬火砕流が発生し, 九州南部, 種子島, 屋久島, 竹島, 薩摩硫黄島等に火砕流堆積物が分布している (図 11; Nagaoka, 1988a; 長岡, 1988b; 小野ほか, 1982; 町田・新井, 2003). 噴火に伴う降下テフラ (鬼界葛原テフラ) は, 西日本・中部地域や周辺海域に広く分布している (町田・新井, 2003; Nagaoka, 1988a). この噴火の噴出量は, 全体で  $150 \text{ km}^3$  以上と見積もられている (VEI=7; 町田・新井, 2003). 噴火年代は, 本質石英から,  $76.9 \pm 7.1 \text{ ka}$  と  $101 \pm 12 \text{ ka}$  の TL 年代値 (Takayama and Nishimura, 1986),  $98 \pm 26 \text{ ka}$  の FT 年代値 (檀原, 1995) が得られており, 南関東での御嶽第 1 軽石層と阿蘇 4 降下テフラに挟まれることなどから, 約 95ka (町田・新井, 2003) と考えられる. 入戸火砕流堆積物の分布図は, 5 万分の1地質図幅「薩摩硫黄島の地質」(小野ほか, 1982) や長岡(1988b)を参照し, 編集の上作成している. ただし, 長岡(1988b)で示された九州南部, 種子島, 屋久島に分布する Ns-1, Ns-3 火砕サーージ堆積物の分布は示していない.

### 3-10. 阿多噴火 (VEI=7)

九州南部の阿多カルデラでは, 約 108 ka に阿多火砕流が発生し, 九州南部地域に火砕流堆積物が分布している (図 12; Aramaki and Ui, 1966; 荒牧・宇井, 1965; Suzuki and Ui, 1983; 町田・新井, 2003). 噴火に伴う降下テフラ (阿多テフラ) は, 西日本や周辺海域に広く分布している (Nagaoka, 1988a; 町田・新井, 2003). この噴火の噴出量は, 全体で  $250 \sim 300 \text{ km}^3$  以上と見積もられている (VEI=7; 町田・新井, 2003). 噴火年代は,  $100 \pm 27 \text{ ka}$  の FT 年代値 (檀原, 1995) と  $108 \pm 3 \text{ ka}$  の K-Ar 年代値 (松本・宇井, 1997) が得られており, 105~110 ka 頃 (町田・新井,

2003)と考えられる。ここでは、松本・宇井 (1997) の K-Ar 年代値から、約 108 ka としておく。入戸火砕流堆積物の分布図は、20 万分の 1 地質図幅「開聞岳及び黒島の一部」(川辺ほか, 2004), 「鹿児島」(宇都ほか, 1997), 「宮崎」(斎藤ほか, 1997), 「八代」(斎藤ほか, 2010), Suzuki and Ui (1983), 鈴木・宇井 (1981)を参照し、編集の上作成している。

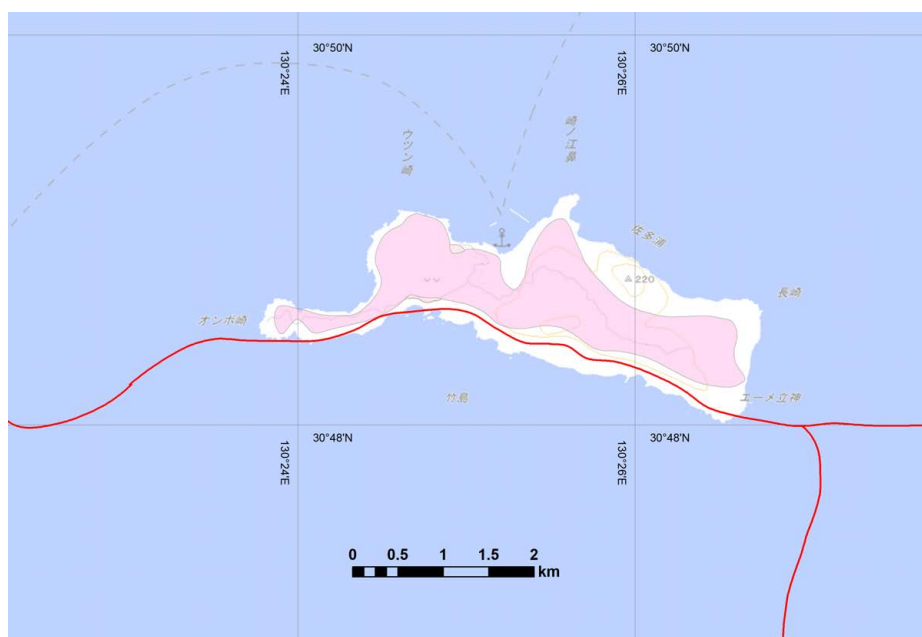


図 11. 鬼界-長瀬噴火の火砕流堆積物の分布 (橙色の部分; 小野ほか, 1982; 長岡, 1998b). 地形図は地理院地図 WMTS 版の淡色地図を利用。

**Fig. 11.** Distribution of ignimbrite derived from the Kikai-Nagase eruption (orange-colored area; Ono et al., 1982; Nagaoka, 1998b). The GSI Tile Map (light-colored map) is used as base map.



図 12. 阿多噴火の火砕流堆積物の分布 (川辺ほか, 2004; 宇都ほか, 1997; 斎藤ほか, 1997; 鈴木・宇井, 1981). 地形図は地理院地図 WMTS 版の淡色地図を利用。

**Fig. 12.** Distribution of ignimbrite derived from the Ata eruption (Kawanabe et al., 2004; Uto et al., 1997; Saito et al., 1997; Suzuki and Ui, 1981, 1983). The GSI Tile Map (light-colored map) is used as base map.



### 3-11. 洞爺噴火 (VEI=7)

北海道南西部の洞爺カルデラでは、約 106 ka に洞爺火砕流が発生し、周辺地域に火砕流堆積物が広く分布している (Goto et al., 2018; 町田・新井, 2003). 噴火に伴う降下テフラ (洞爺テフラ; Toya) は、北海道全域、東北地方北部に広く分布している (図 13; 町田ほか, 1987; 町田・新井, 2003). この噴火の噴出量は、火砕流堆積物が  $20 \text{ km}^3$  以上、降下テフラが  $150 \text{ km}^3$  以上と見積もられている (VEI=7; 石川ほか, 1969; 町田ほか, 1987). 最近では、火砕流堆積物の分布・層厚のより詳細な復元により、火砕流堆積物だけで、 $80 \sim 160 \text{ km}^3$  (宝田ほか, 2018) という推定値が得られている. 噴火年代は、海域の降下テフラの検討から、106 ka (海洋酸素同位体ステージ 5d; 白井, 1997; Matsu'ura, 2014),  $0.134 \pm 0.026 \sim 0.103 \pm 0.030 \text{ Ma}$  の TL 年代値 (高島ほか, 1992) が得られており、約 106 ka と考えられる. 洞爺火砕流堆積物の分布図は、20 万分の 1 地質図幅「室蘭」(石田ほか, 1983), 「岩内 (第 2 版)」(石田ほか, 1991), 「札幌」(石田ほか, 1980) を参照し、編集の上作成している.

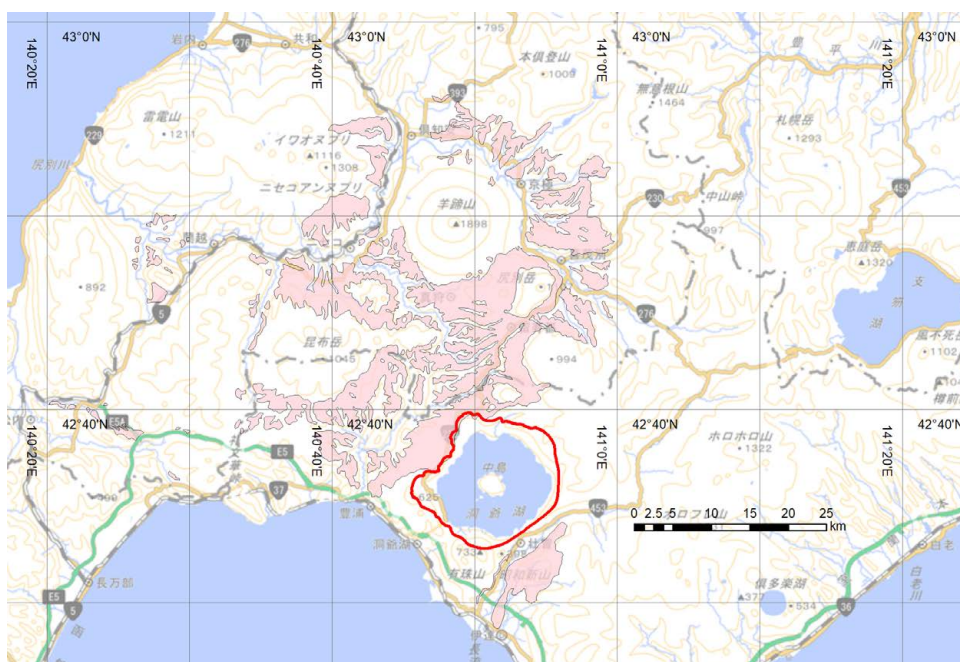


図 13. 洞爺噴火の火砕流堆積物の分布 (石田ほか, 1980, 1983, 1991). 地形図は地理院地図 WMTS 版の淡色地図を利用.

Fig. 13. Distribution of ignimbrite derived from the Toya eruption (Ishida et al., 1980, 1983, 1991). The GSI Tile Map (light-colored map) is used as base map.

### 3-12. 支笏 4.6 万年前噴火 (VEI=7)

北海道南西部の支笏カルデラでは、約 46 cal ka に支笏火砕流が発生し、周辺地域に火砕流堆積物が広く分布している (図 14; 中川ほか, 2018; 山縣, 1994; 町田・新井, 2003). 噴火に伴う降下テフラ (支笏第 1 テフラ; Spfa-1) は、北海道及び周辺海域に広く分布している (山縣, 1994; 町田・新井, 2003). この噴火の噴出量は、全体で約  $300 \text{ km}^3$  と見積もられている (VEI=7; Machida 1999; 町田・新井, 2003). 最近、より詳細な火砕流堆積物の分布見積りにより、火砕流堆積物の体積は  $150 \text{ km}^3$ 、降下テフラの体積は  $200 \sim 240 \text{ km}^3$  という推定結果が得られている (山元, 2016). 噴火年代は、45,105-46,560 cal BP の年代値が得られている (Uesawa et al., 2016). 支笏火砕流堆積物の分布図は、20 万分の 1 地質図幅「札幌」(石田ほか, 1980), 「岩内 (第 2 版)」(石田ほか, 1991), 「苫小牧」(佐藤ほか, 1972) を参照し、編集の上作成している.

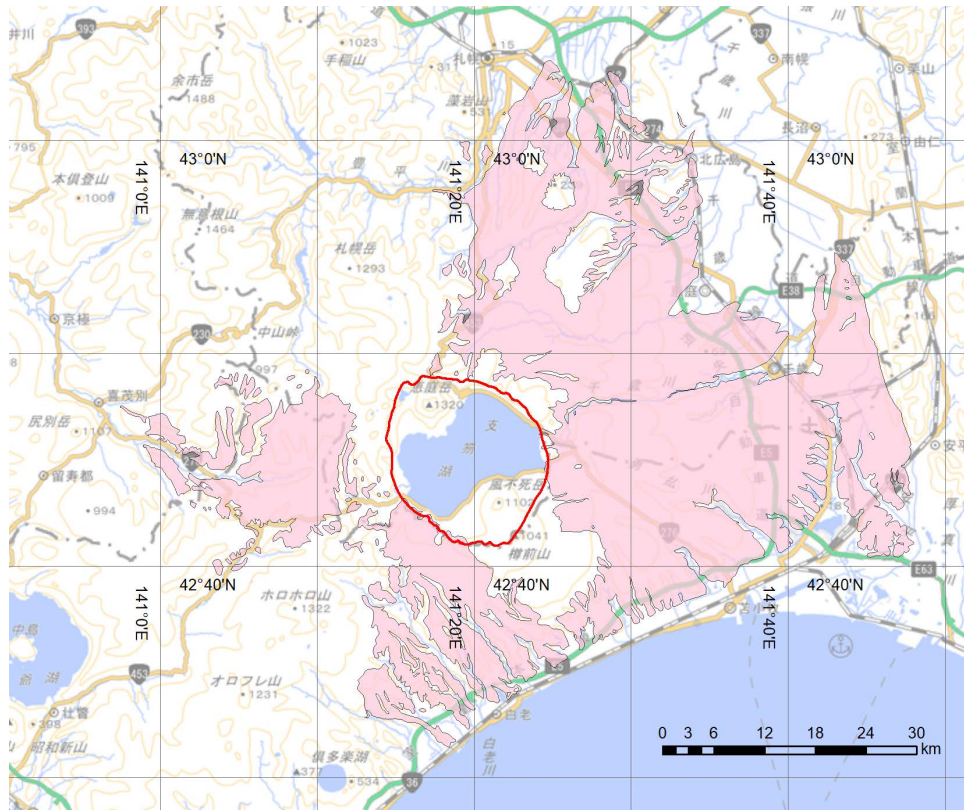


図 14. 支庁 4 万 6 千年前噴火の火砕流堆積物の分布 (石田ほか, 1980, 1991; 佐藤ほか, 1972). 地形図は地理院地図 WMTS 版の淡色地図を利用.

Fig. 14. Distribution of ignimbrite derived from the Shikotsu 46 cal ka eruption (Ishida et al., 1980, 1991; Satoh et al., 1972). The GSI Tile Map (light-colored map) is used as base map.

### 3-13. 屈斜路 I 噴火 (VEI=7)

北海道東部の屈斜路カルデラでは、約 40 cal ka に屈斜路火砕流 I が発生し、北海道東部地域に火砕流堆積物が広く分布している (図 15; 勝井・佐藤, 1963; Hasegawa et al. 2012; 町田・新井, 2003). 噴火に伴う降下テフラ (屈斜路庶路テフラ; Kc-Sr) は、北海道東部及び東方の海域に広く分布している (奥村, 1991; Machida, 1999; 町田・新井, 2003). この噴火の噴出量は、全体で  $100 \text{ km}^3$  (町田・新井, 2003),  $125 \text{ km}^3$  (Hasegawa et al., 2016) と見積もられている (VEI=7). 最近、火砕流堆積物の分布・層厚の詳細な復元により、火砕流堆積物だけで、 $95 \sim 180 \text{ km}^3$  の推定値が得られている (宝田ほか, 2018). 噴火年代は、 $40,027 \pm 1059$ ,  $40,226 \pm 1051$  cal BP の  $^{14}\text{C}$  年代値が得られており (山元ほか, 2010), 約 40 cal ka としておく. 屈斜路火砕流堆積物 I の分布図は、20 万分の 1 地質図幅「斜里」(佐藤ほか, 1970), 「網走」(佐藤・三梨, 1970) を参照し、編集の上作成している. 20 万分の 1 地質図幅では、カルデラの北部域にのみ分布が示されているが、カルデラの南部域にも火砕流堆積物の分布が見られる.

### 3-14. 屈斜路 IV 噴火 (VEI=7)

北海道東部の屈斜路カルデラでは、約 120 ka に屈斜路 IV 火砕流が発生し、北海道東部地域に火砕流堆積物が広く分布している (図 16; 勝井・佐藤, 1963; Hasegawa et al. 2016; 町田・新井, 2003). 噴火に伴う降下テフラ (屈斜路羽幌テフラ; Kc-Hb) は、北海道及び東方の海域に広く分布している (奥村, 1991; Machida, 1999; 町田・新井, 2003). この噴火の噴出量は、全体で  $150 \text{ km}^3$  以上 (町田・新井, 2003),  $175 \text{ km}^3$  (Hasegawa et al. 2012, 2016) と見積もられている.



(VEI=7). 最近, 火砕流堆積物の分布・層厚の詳細な復元により, 火砕流堆積物だけで, 320～660 km<sup>3</sup> の推定値が得られている (宝田ほか, 2018). 噴火年代は, 他のテフラとの層序や段丘面の検討などから, 115～120ka (町田・新井, 2003; Hasegawa, 2012, 2016)と考えられている. ここでは, Hasegawa (2016)に従い, 約 120 ka としておく. 屈斜路 IV 火砕流堆積物の分布図は, 20 万分の 1 地質図幅「斜里」(佐藤ほか, 1970), 「網走」(佐藤・三梨, 1970), 「北見」(山口, 1970), 「紋別」(佐藤・山口, 1984), 「標津」(佐藤ほか, 1971), 「釧路」(佐藤ほか, 1976) を参照し, 編集の上作成している.

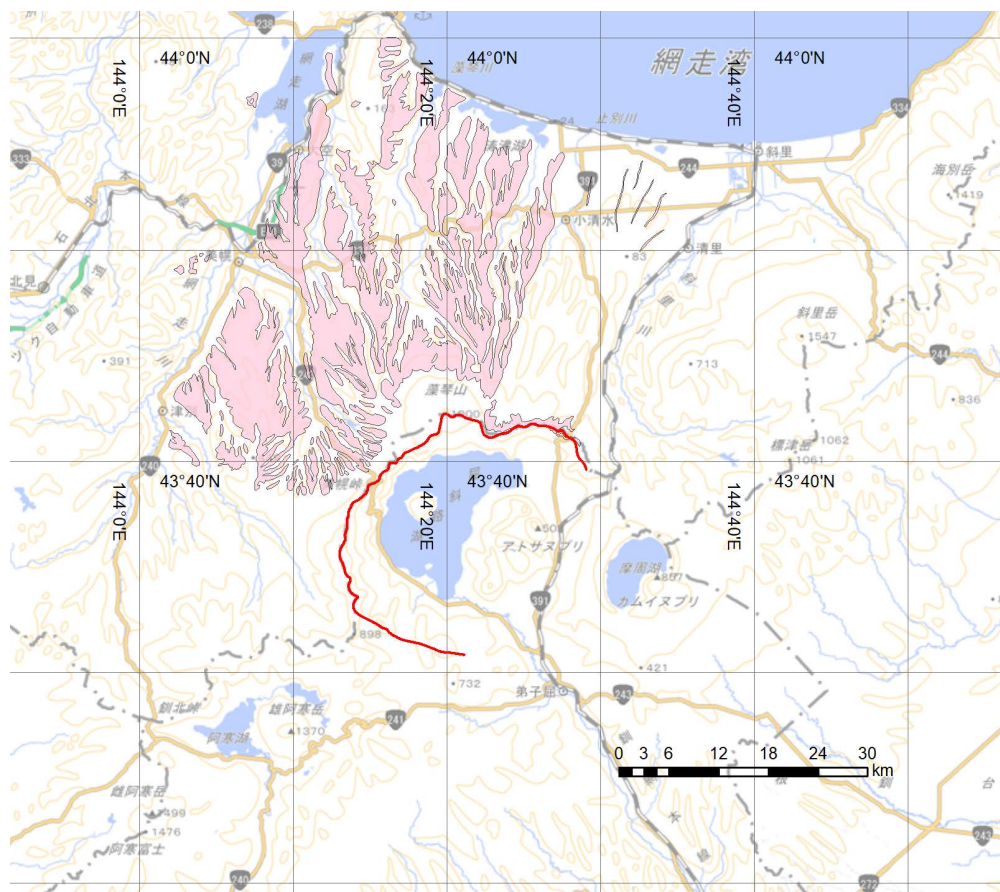


図 15. 屈斜路 I 噴火の火砕流堆積物の分布 (佐藤ほか, 1970; 佐藤・三梨, 1970). 地形図は地理院地図 WMTS 版の淡色地図を利用.

Fig. 15. Distribution of ignimbrite derived from the Kutcharo I eruption (Satoh et al., 1970; Satoh and Mitsunashi, 1970). The GSI Tile Map (light-colored map) is used as base map.

### 3-15. 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, 島嶼部や対岸のスマトラ島やジャワ島の海岸沿いに火砕流堆積物が分布している (図 17; Verbeek, 1884, 1885; Simkin and Fiske, 1983; Francis, 1985; Carey et al., 1996). 噴火に伴う降下テフラは, 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 (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<sup>3</sup> (Verbeek, 1984, 1985), 18-21 km<sup>3</sup> (Self and Rampino, 1981) と見積もられている (VEI=6). 火砕流堆積物の分布図は, Self and Rampino (1981), Carey et al. (1996), Verbeek (1985) の分布を参考に, 編集の上陸域の分布を示している.



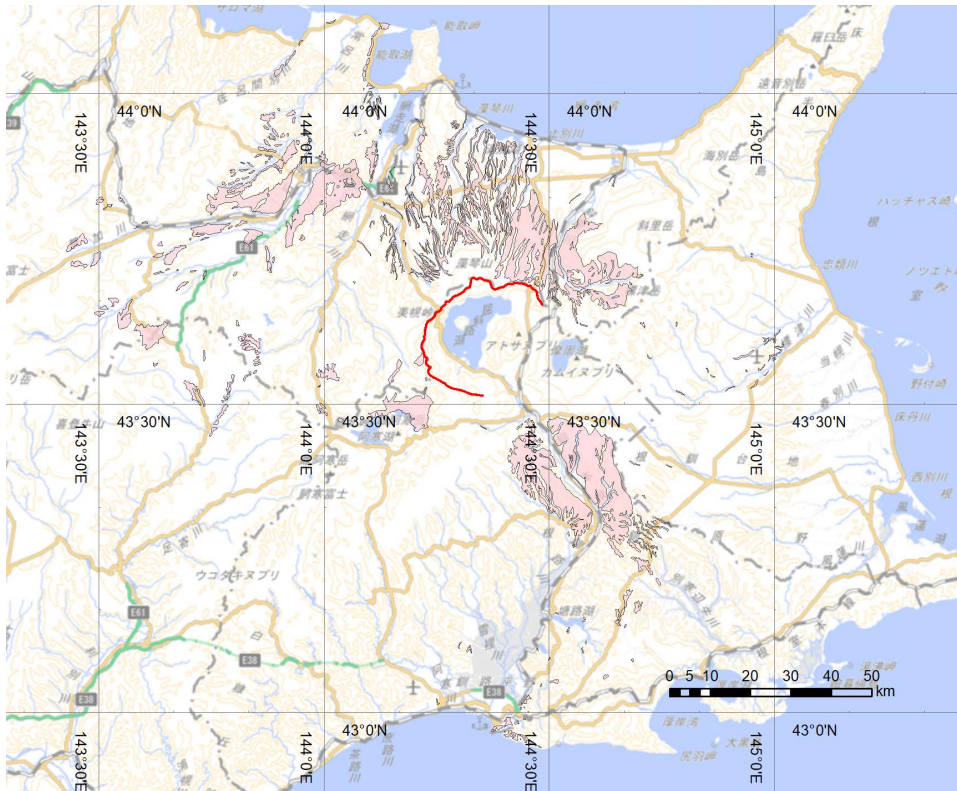


図 16. 屈斜路 IV 噴火の火砕流堆積物の分布 (佐藤ほか, 1970, 1971, 1976; 佐藤・三梨, 1970; 山口, 1970; 佐藤・山口, 1984). 地形図は地理院地図 WMTS 版の淡色地図を利用.

**Fig. 16.** Distribution of ignimbrite derived from the Kutcharo IV eruption (Satoh et al., 1970, 1971, 1976; Satoh and Mitsunashi, 1970; Yamaguchi, 1970; Satoh and Yamaguchi, 1984). The GSI Tile Map (light-colored map) is used as base map.

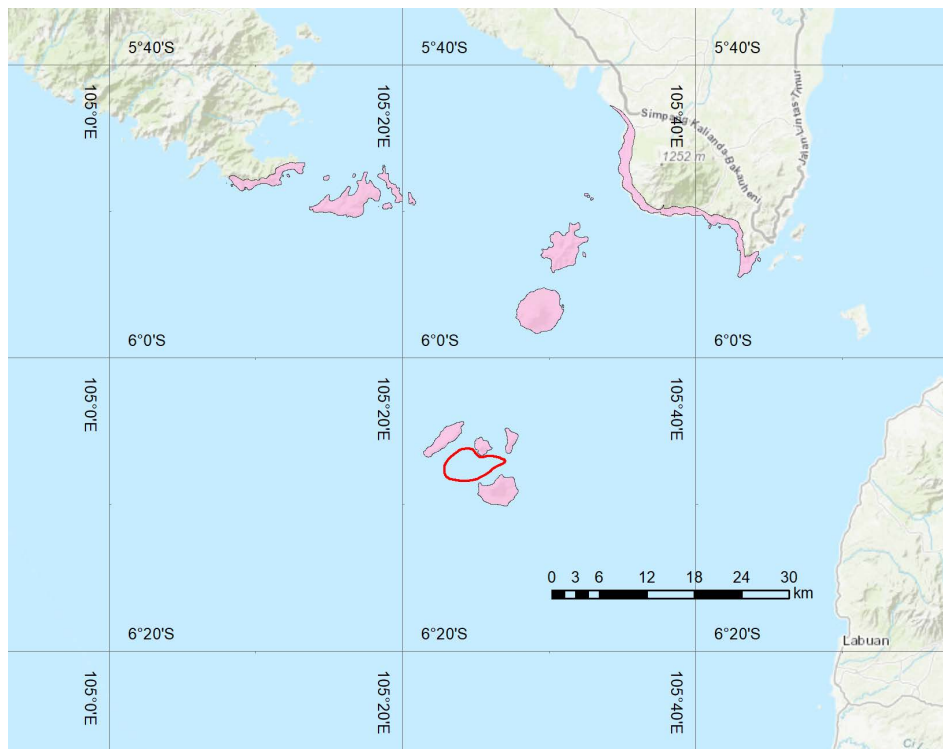


図 17. クラカタウ 1883 年噴火の火砕流堆積物の分布 (Self and Rampino, 1981; Carey et al., 1996; Verbeek, 1885). 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

**Fig. 17.** Distribution of ignimbrite derived from the Krakatau 1883AD eruption (Self and Rampino, 1981; Carey et al., 1996; Verbeek, 1885). Base map provided by the ArcGIS software is used.

### 3-16. バツール 2.9 万年前噴火 (VEI=6)

インドネシアバリ島のバツール火山では、約 29 ka にデイサイト質の Ubud 火砕流が発生し、主に火山体の南、南西方向に火砕流堆積物が広く分布している (図 18; Reubi and Nicholls, 2004, 2005; Sutawidjaja, 2009; Sutawidjaja et al., 2015; Wheller and Varne, 1986). 火砕流に伴う降下テフラは、広域テフラとして広く分布している (Machida, 2002). Ubud 火砕流堆積物の体積は、約  $84 \text{ km}^3$  (Sutawidjaja, 2009) と見積もられている. 噴出年代として、29,300 yBP の  $^{14}\text{C}$  年代値が得られている. 火砕流堆積物の分布図は、Sutawidjaja et al. (2015), Reubi and Nicholls (2004) を参照し、編集の上作成している.

### 3-17. バツール 2 万年前噴火 (VEI=6)

インドネシアバリ島のバツール火山では、約 20 ka にデイサイト質の Gunungkawi 火砕流が発生し、南西方向に流れ下っている (図 18; Reubi and Nicholls, 2004, 2005; Sutawidjaja, 2009; Sutawidjaja et al., 2015; Wheller and Varne, 1986). 火砕流に伴う降下テフラは、広域テフラとして広く分布している (Machida, 2002). Gunungkawi 火砕流堆積物の体積は、約  $19 \text{ km}^3$  (Sutawidjaja et al., 2015) と見積もられている. 噴出年代として、20,150 yBP (Sutawidjaja, 2009) の  $^{14}\text{C}$  年代値が得られている. 火砕流堆積物の分布図は、Sutawidjaja et al. (2015), Reubi and Nicholls (2004) を参照し、編集の上作成している.

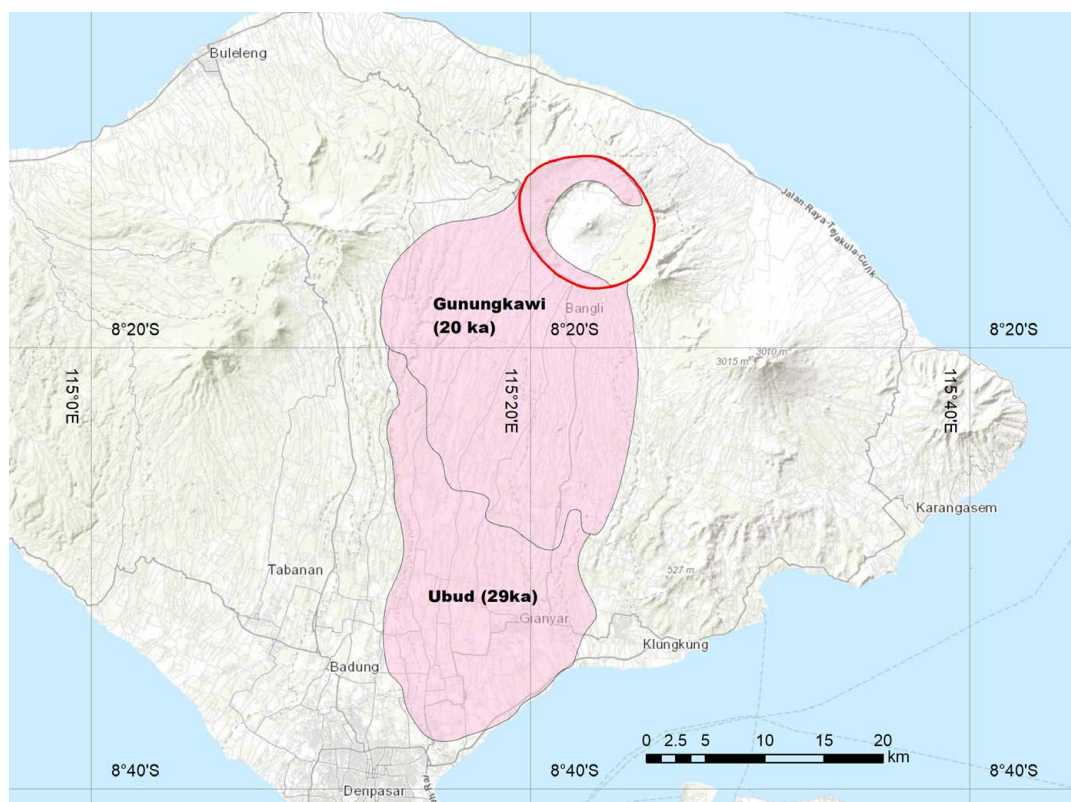


図 18. バツール 29 ka 噴火の Ubud 火砕流堆積物及びバツール 20 ka 噴火の Gunungkawi 火砕流堆積物の分布 (Sutawidjaja et al., 2015; Reubi and Nicholls, 2004). 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

**Fig. 18.** Distributions of the Udud ignimbrite derived from the Batur 29 ka eruption and the Gunungkawi ignimbrite derived from the Batur 20 ka eruption (Sutawidjaja et al., 2015; Reubi and Nicholls, 2004). Base map provided by the ArcGIS software is used.

### 3-18. 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、7 世紀の西暦 681～684 年頃の噴火でラバウル火砕流が発生し、火山周辺に火砕流堆積物が分布している (図 19; 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 (Walker, 1981). この噴火の噴出量は、 $11 \text{ km}^3$  以上 (Walker et al., 1981) と見積もられている (VEI=6). 噴火年代は、 $^{14}\text{C}$  年代測定の平均から、 $1380 \pm 34$  年前の値が得られており、 $^{14}\text{C}$  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. 火砕流堆積物の分布図は、Walker et al. (1981) の層厚分布図、Nairn et al. (1995) の柱状図等を参考に、編集の上陸域の分布を示している.

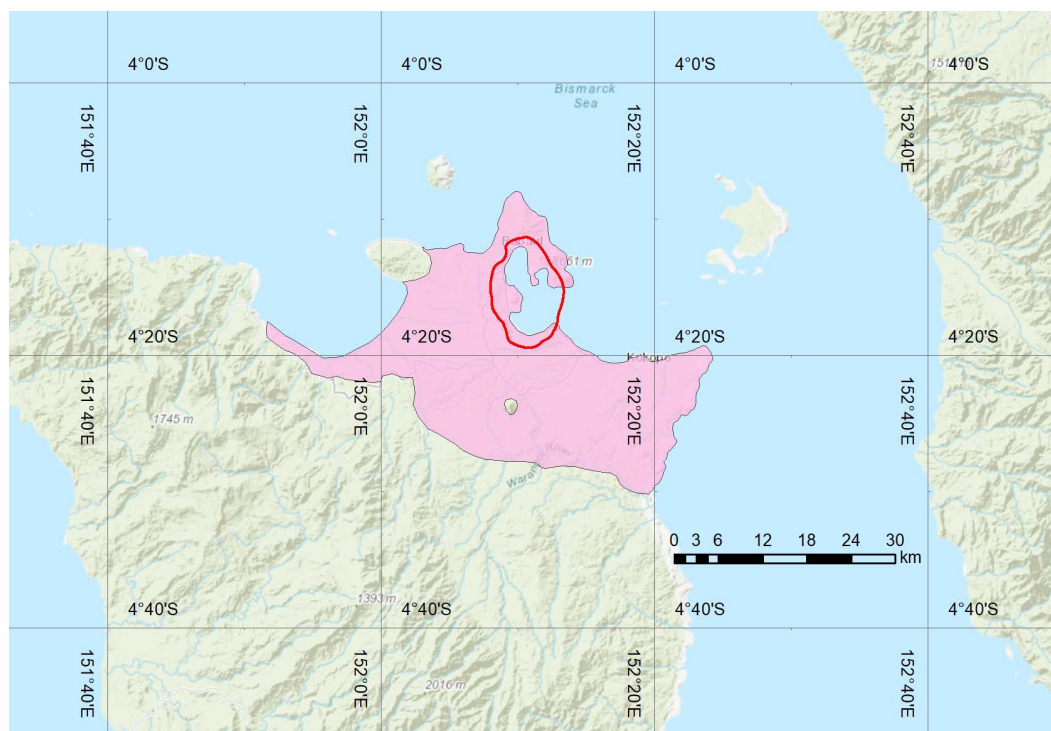


図 19. ラバウル 7 世紀噴火の火砕流堆積物の分布 (Walker et al., 1981; Nairn et al., 1995). 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

Fig. 19. Distribution of ignimbrite derived from the Rabaul 7c eruption (Walker et al., 1981; Nairn et al., 1995). Base map provided by the ArcGIS software is used.

### 3-19. ウィトリ-キンベ 2 噴火 (VEI=6)

パプアニューギニア、ニューブリテン島中央部のウィトリカルデラ (後カルデラ: パゴ火山) では、約 3.3 ka にウィトリ-キンベ 2 (W-K2) 噴火が発生し、カルデラの周囲に火砕流堆積物が分布している (図 20; Machida et al., 1996; McKee et al., 2011; Bleeker and Perfitt, 1974). この噴火に伴う降下テフラは、ニューブリテン島中央部から西部に広く分布している (Machida et al., 1996; McKee et al., 2011). この噴火の噴出量は、約  $30 \text{ km}^3$  と見積もられている (VEI=6; Machida et al., 1996; McKee et al., 2011). この他にも、ウィトリカルデラでは、ウィトリ-キンベ 1 (W-K1; 約 5.6 ka;  $10 \text{ km}^3$ ), ウィトリ-キンベ 3 (W-K3; 約 1.8 ka;  $6 \sim 10 \text{ km}^3$ ), ウィトリ-キンベ 4 (W-K4; 約 1.3 ka;  $6 \sim 10 \text{ km}^3$ ), ウィトリ-ガリロ (W-G; 約 1.2 ka;  $20 \text{ km}^3$ ), ウィトリ-ホスキンス 1 (W-H3; 約 0.5 ka;  $2 \text{ km}^3$ ), ウィトリ-ホスキンス 4 (W-H4; 約 0.4 ka;  $2 \text{ km}^3$ ), ウィトリ-ホスキンス 5 (W-H5; 約 0.25 ka;  $2 \text{ km}^3$ ), ウィトリ-ホスキンス 5 (W-H5; 約 0.15 ka;  $2 \text{ km}^3$ ) の噴火が確認されている (McKee et al., 2011).



W-K1, W-K3, W-K4, W-G の噴火による火砕流堆積物は、VEI=6 クラスの噴火によるものである可能性が高いが、詳細な火砕流堆積物の分布が不明であるため、ここでは示していない。噴火年代は、直下の土壌の  $^{14}\text{C}$  年代から、約 3.3 ka (Machida et al., 1996) と考えられている。火砕流堆積物の分布図は、Machida et al. (1996) の分布図、Bleeker and Parfitt (1974) の柱状図等を参考に、編集の上陸域の分布を示している。

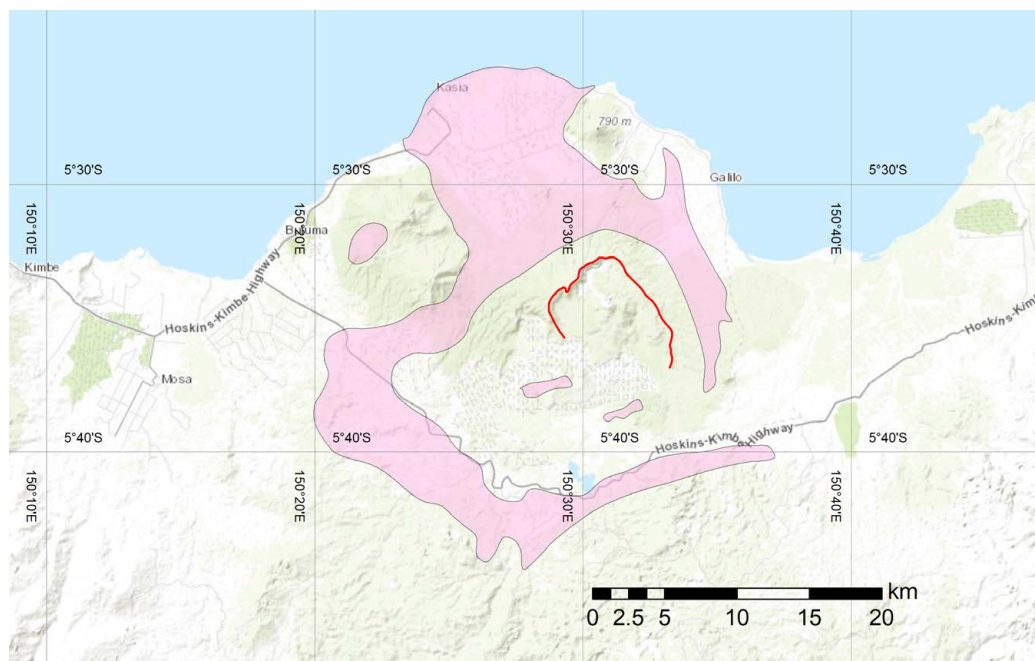


図 20. ウィトリキンベ 2 噴火の火砕流堆積物の分布 (Machida et al., 1996; McKee et al., 2011; Bleeker and Parfitt, 1974). 地形図は ArcGIS のベースマップを利用。

Fig. 20. Distribution of ignimbrite derived from the Witori-Kimbe2 eruption (Machida et al., 1996; McKee et al., 2011; Bleeker and Parfitt, 1974). Base map provided by the ArcGIS software is used.

### 3-20. ピナツボ 1991 年噴火 (VEI=6)

フィリピン島のルソン島のピナツボ火山では、西暦 1991 年 6 月 3 日の噴火で火砕流が発生し、火山周辺に火砕流堆積物が分布している (図 21; Walfe and Hoblitt, 1996; Scott et al., 1996). 噴火に伴う降下テフラは、ルソン島中央部や周辺海域に広く分布した (Walfe and Hoblitt, 1996; Paladio-Melosantos et al., 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 et al., 1996) と見積もられている (VEI=6). 火砕流堆積物の分布図は、Torres et al. (1996), Scott et al. (1996) の分布図を参考に、編集の上陸域の分布を示している。

### 3-21. 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 の噴火で火砕流が発生し、火山周辺に火砕流堆積物が分布している (図 22; 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) は、南東方向に広がり、日本海や近畿、中部地方に分布している (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、全体で約  $10 \text{ km}^3$  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。火砕流堆積物の分布は、町田ほか (1984) に示されたカ

ルデラ北西部の分布を示している。しかし、噴火規模から考えて、噴火時はウルルン島を広く覆っていたと考えられる。

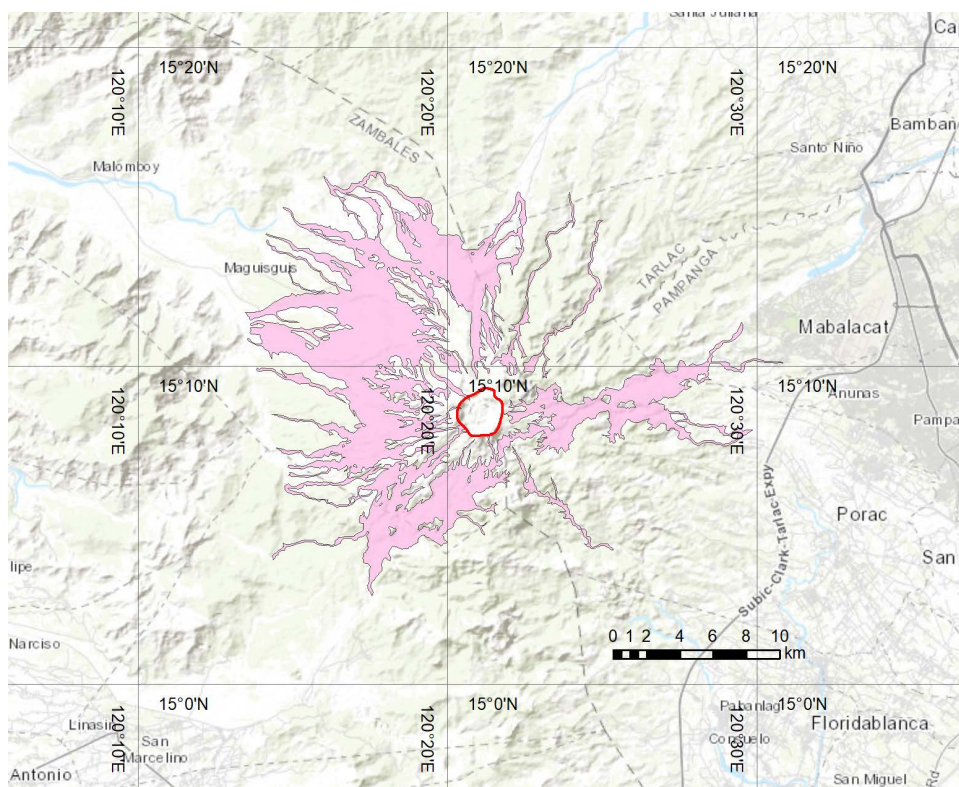


図 21. ピナツボ火山 1991 年噴火の火砕流堆積物の分布 (Torres et al., 1996; Scott et al., 1996). 地形図は ArcGIS のベースマップを利用。

**Fig. 21.** Distribution of ignimbrite derived from the Pinatubo 1991AD eruption (Torres et al., 1996; Scott et al., 1996). Base map provided by the ArcGIS software is used.

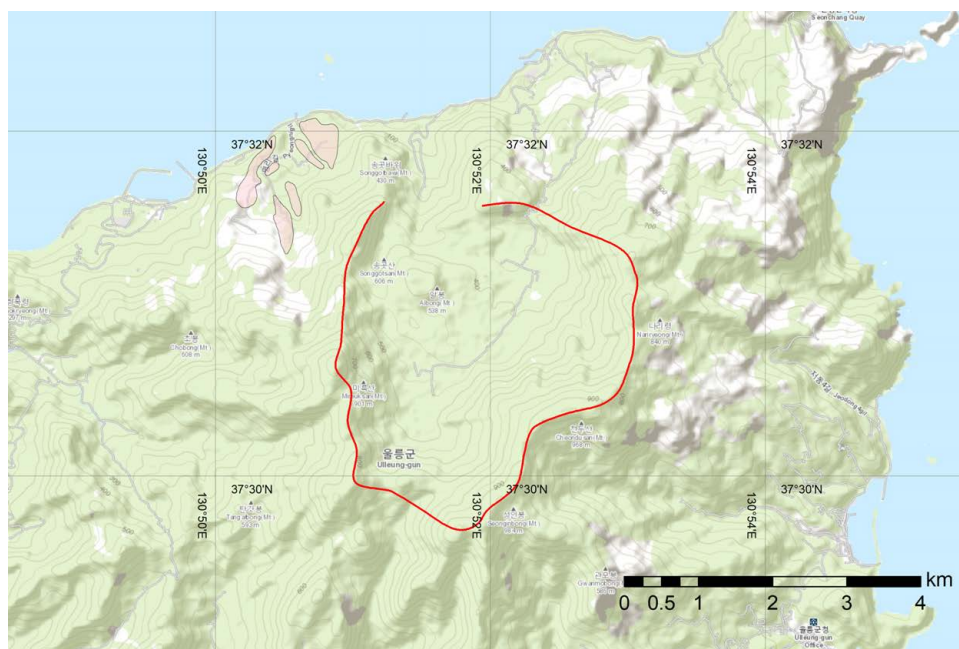


図 22. ウルルン-隠岐噴火の火砕流堆積物の分布 (町田ほか, 1984). 地形図は ArcGIS のベースマップを利用。

**Fig. 22.** Distribution of ignimbrite derived from the Ulleung-Oki eruption (Machida et al., 1984). Base map provided by the ArcGIS software is used.



### 3-22. 摩周 7.5 ka 噴火 (VEI=6)

北海道東部の摩周火山では、約 7.5 cal ka の噴火で火砕流が発生し、火山周辺に火砕流堆積物 (Ma-f) が分布している (図 23; Katsui, 1963; Katsui et al., 1975; 勝井・佐藤, 1963; 勝井, 1955). 噴火に伴う摩周降下火山灰 j (Ma-j), 摩周降下軽石 i (Ma-i), 摩周降下軽石 h (Ma-h), 摩周降下軽石 g (Ma-g) は、東南東～南東方向に広がり、北海道東部に広く分布している (岸本ほか, 2009; Katsui, 1963; Katsui et al., 1975). これらのうち、Ma-j は成層しており、複数回のイベント堆積物である可能性も指摘されている (山元ほか, 2010). 本噴火の噴出量は、Ma-j が  $0.7 \text{ km}^3$ , Ma-i が  $4.0 \text{ km}^3$ , Ma-h が  $1.0 \text{ km}^3$ , Ma-g が  $3.2 \text{ km}^3$ , Ma-f が  $9.7 \text{ km}^3$ , 合計約  $18.6 \text{ km}^3$  と見積もられている (VEI=6; 岸本ほか, 2009). 摩周火砕流堆積物 (Ma-f) の噴火年代値として、 $6,460 \pm 130 \text{ yBP}$  及び  $7,190 \pm 230 \text{ yBP}$  (勝井・佐藤, 1963),  $6,510 \pm 70 \text{ yBP}$  及び  $6,730 \pm 60 \text{ yBP}$  (山元ほか, 2010) の  $^{14}\text{C}$  年代値が得られており、約 7.5 cal ka と考えられる. 火砕流堆積物の分布は、佐藤ほか (1970), Katsui (1963), Katsui et al. (1975) の分布図を参考に、編集の上分布域を示している.

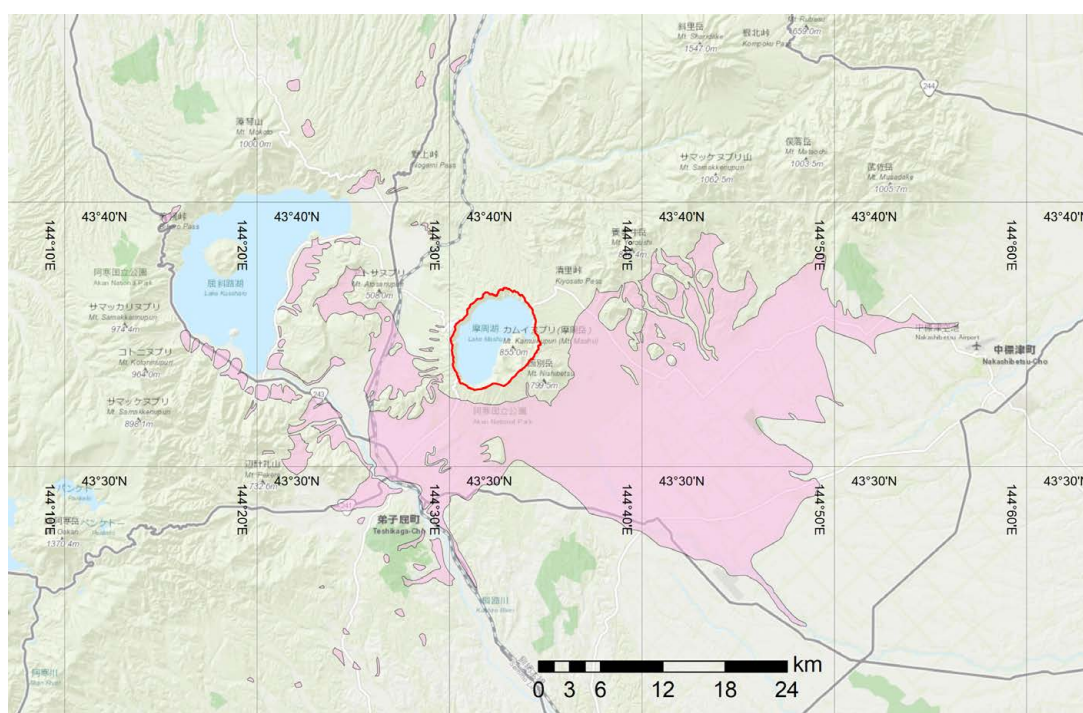


図 23. 摩周 7.5 ka 噴火の火砕流堆積物の分布 (佐藤ほか, 1970; Katsui, 1963; Katsui et al., 1975). 地形図は ArcGIS のベースマップを利用.

Fig. 23. Distribution of ignimbrite derived from the Mashu 7.5 ka eruption (Satoh et al., 1970; Katsui, 1963; Katsui et al., 1975). Base map provided by the ArcGIS software is used.

### 3-23. 濁川 14.6 ka 噴火 (VEI=6)

北海道南西部の濁川カルデラでは、約 14.6 cal ka に濁川火砕流が発生し、カルデラ周辺域に火砕流堆積物が分布している (図 24; 黒墨・土井, 2003; 柳井ほか, 1992; 安藤, 1983). 下位には、火砕サージ堆積物や降下堆積物がみられる (柳井ほか, 1992; 名越, 1994). 火砕流に伴う降下テフラは、東方向に分布しており、海底テフラも見られる (黒墨・土井, 2003; 青木・大串, 2006; 町田・新井, 2003). この噴火の噴出量は、柳井ほか (1992) は、降下テフラの体積が  $8.7 \text{ km}^3$ , 陸上部分の火砕流堆積物が  $2.2 \text{ km}^3$ , 合計約  $10.9 \text{ km}^3$  と見積もっている. 海底に流入した火砕流堆積物の噴出量は不明であるが、総噴出量は、 $10 \sim 15 \text{ km}^3$  程度であると考えられる (VEI=6). 黒墨・土井 (2003) は、多数のボーリングコアの解析などから、カルデラの内部構造を詳細に調べ、基盤



岩の約70 vol% 以上が本質物質と共にカルデラ外に放出され, 30 vol% 以下がカルデラ内にフォー  
ールバックし, カルデラから噴出した本質物質量は約 4 km<sup>3</sup> (DRE) 以上と推定している. 噴火年代  
は, <sup>14</sup>C年代値として, 12,090±190 yBPと12,270±190 yBPの値が得られている(柳井ほか, 1992).  
下北半島沖の海底コア中の濁川テフラ層の上下の浮遊性有孔虫の <sup>14</sup>C 年代値から, 14.6 cal ka  
の値が報告されている(青木・大串, 2006). 火砕流堆積物の分布図は, 黒墨・土井 (2003), 柳井  
ほか (1992), 安藤 (1983) を参照し, 編集の上作成している.

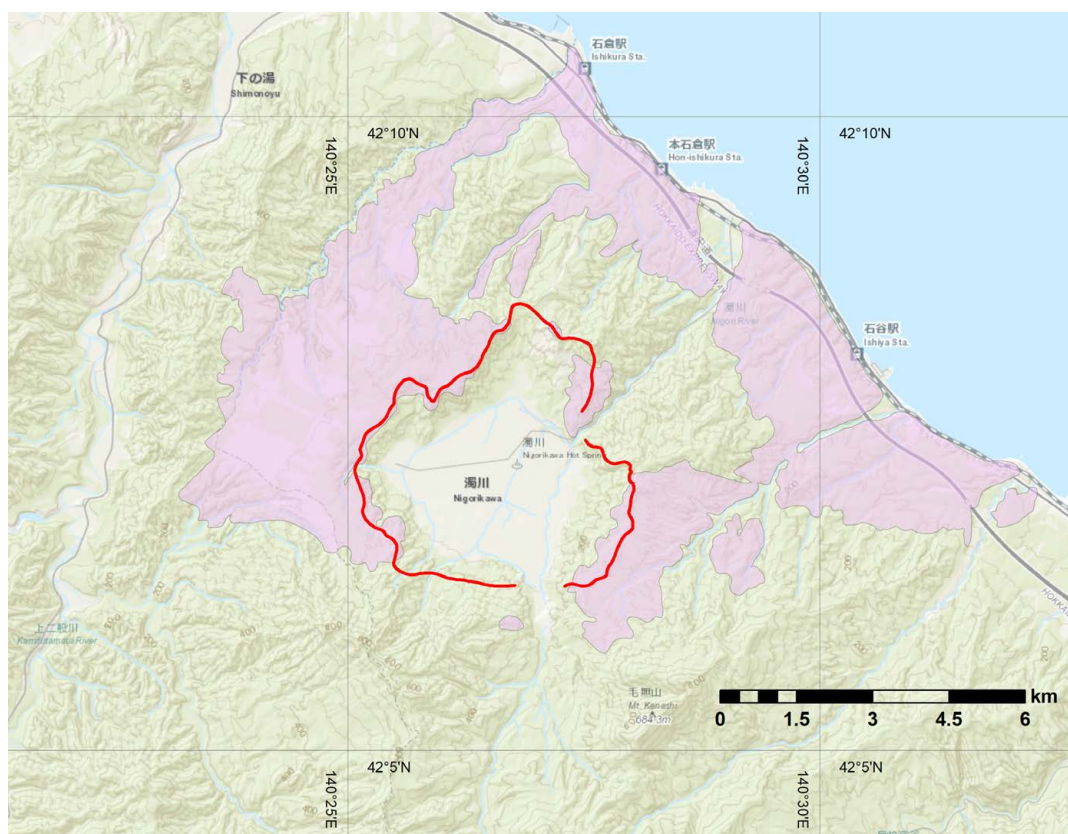


図 24. 濁川 14.6 ka 噴火の火砕流堆積物の分布(黒墨・土井, 2003; 柳井ほか, 1992; 安藤, 1983). 地形図  
は ArcGIS のベースマップを利用.

Fig. 24. Distribution of ignimbrite derived from the Nigorikawa 14.6 ka eruption (Kurozumi and Doi, 2003; Yanai et al., 1992; Ando, 1983). Base map provided by the ArcGIS software is used.

### 3-24. 十和田-八戸噴火 (VEI=6)

東北地方北部の十和田カルデラでは, 約 15.5 cal ka に十和田八戸火砕流が発生し, 周辺地域  
に火砕流堆積物が広く分布している(図 25; 早川, 1983; Hayakawa, 1985; 町田・新井, 2003; 工  
藤, 2005). 噴火に伴う降下テフラ(十和田八戸テフラ; To-HP)は, 東北東方向に広がり, 東北北  
部地域に広く分布している(早川, 1983; Hayakawa, 1985; 町田・新井, 2003; 工藤, 2005). この  
噴火の噴出量は, 全体で 56 km<sup>3</sup> (Hayakawa, 1985)と見積もられている(VEI=6). 最近では, 火  
砕流堆積物の分布・層厚のより詳細な復元により, 火砕流堆積物だけで, 27~56 km<sup>3</sup> (DRE 換算  
で 13~27 km<sup>3</sup>; 宝田ほか, 2017)という推定値が得られている. 噴火年代は, <sup>14</sup>C年代と年輪の検  
討等から 15,363~15,679 cal BP (Horiuchi et al., 2007)と考えられている. 十和田八戸火砕流堆  
積物の分布図は, 20 万分の 1 地質図幅「青森(第 2 版)」(大沢ほか, 1993), 「弘前及び深浦」  
(大沢・須田, 1978), 「野辺地」(対馬, 1964), 「八戸」(鎌田ほか, 1991)を参照し, 編集の上  
作成している.

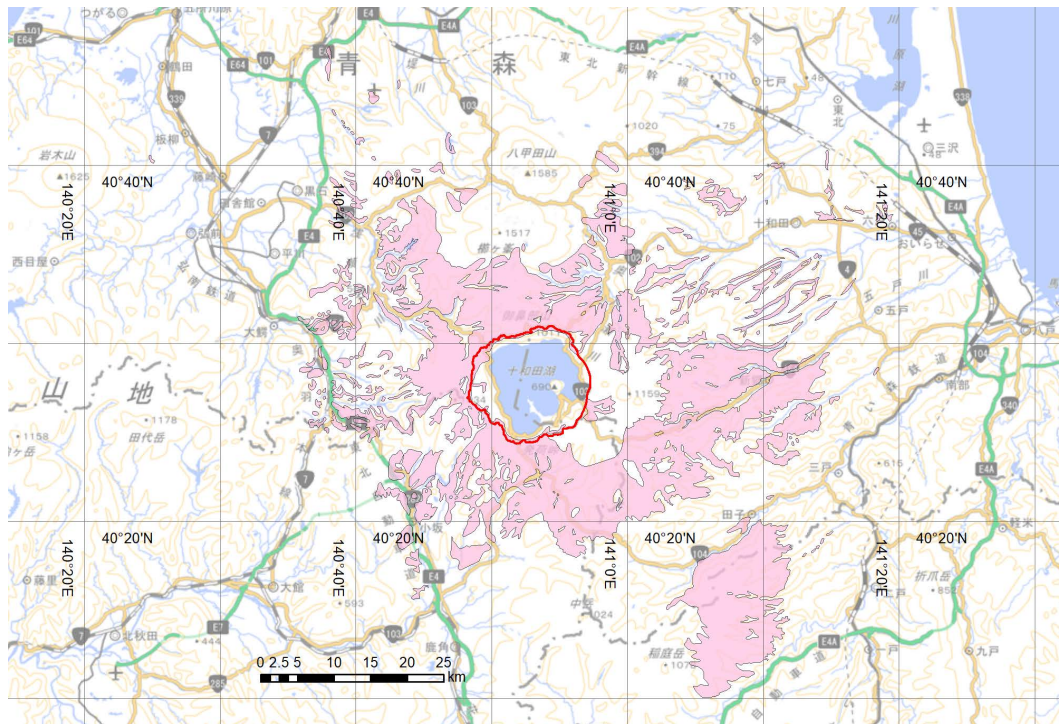


図 25. 十和田-八戸噴火の火砕流堆積物の分布（大沢・須田，1973；大沢ほか，1993；鎌田ほか，1991；対馬，1964）。地形図は地理院地図 WMTS 版の淡色地図を利用。

Fig. 25. Distribution of ignimbrite derived from the Towada-Hachinohe eruption (Osawa and Suda, 1978; Osawa et al., 1993; Kamata et al., 1991; Tsushima, 1964). The GSI Tile Map (light-colored map) is used as base map.

#### 4. GIS データ

本研究資料集には、火砕流堆積物の 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火砕流堆積物の詳細情報（火山名、イベント名、噴火年代、VEI、地域、火砕流についての文献情報、火砕流に伴う降下テフラの文献情報、年代値の文献情報、体積についての文献情報）が、英語と日本語で埋め込まれている。火砕流に関する文献情報では、火砕流の分布を描くために参照した文献の他、火砕流を噴出した火山の地質や噴火履歴、研究内容に関する文献などが示されている。GIS ソフト上で各ポリゴンの情報表示を行うことで、各火砕流堆積物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、火砕流堆積物の時代、岩相で区分した RGB 値を示している。

表 2. 拡張子とファイル内容

Table 2. Explanation of file extensions

拡張子	説明
.shp	火砕流堆積物分布図の本体となるファイル
.shx	火砕流堆積物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	火砕流堆積物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火砕流堆積物の分布 -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 3/7 -. 産総研地質調査総合センター研究資料集, no. 683, 産総研地質調査総合センター, p. 1-30.

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火砕流堆積物のデータは、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・火山研究部門の川邊禎久氏の査読により大きく改善されました。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.
- Aldiss, D.T., Whandoyo, R., Ghazali, S.A. and Kusyono (1983) Geologic Map of the Sidikalang and (part of) Sinabang Quadrangles, Sumatra. 1:250,000, 0518-0618, Integrated Geological Survey of Northern Sumatra, Geological Research and Development Centre, Bandung, Indonesia. 1 sheet.
- 安藤重幸 (1983) ボーリング結果からみた濁川カルデラの構造. 月刊地球, 5, 116-121.
- Aoki, K. (2008) Revised age and distribution of ca. 87ka Aso-4 tephra based on new evidence from the northwest Pacific Ocean. *Quaternary International*. 178, 100-118.
- 青木かおり・大串健一 (2006) 下北半島沖海底コア MD01-2409 中に介在する濁川テフラ. 第四紀研究, 45, 257-260.
- 新井房夫・大場忠道・北里 洋・堀部純男・町田 洋 (1981) 後期第四紀における日本海の古環境-テフロクロノロジー, 有孔虫群集解析, 酸素同位体比法による-. 第四紀研究, 20, 209-230.
- Aramaki, S. (1984) Formation of the Aira Caldera, Southern Kyushu, ~22,000 years ago. *J. Geophys. Res.*, 89, B10, 8485-8501.
- 荒牧重雄・宇井忠英 (1965) 阿多火砕流と阿多カルデラ. 地質雑, 72, 337-349.
- Aramaki, S. and Ui, T. (1966) The Aira and Ata pyroclastic flows and related caldera and depressions in southern Kyushu, Japan. *Bull. Volcanol.*, 29, 29-47.
- Aspden, J.A., Kartawa, W., Aldiss, D.T., Djunuddin, A., Diatma, D., Clarke, M.C.G., Whandoyo, R. and Harahap, H. (1982) Geologic Map of the Padangsidempuan and



- Sibbolga Quadrangles, Sumatra. 1:250,000, 0167-0717, Integrated Geological Survey of Northern Sumatra, Geological Research and Development Centre, Bandung, Indonesia. 1 sheet.
- Bleeker, P. and Parfitt, R.L. (1974) Volcanic ash and its clay mineralogy at Cape Hoskins, New Britain, Papua New Guinea. *Geoderma*, 11, 123-135.
- Blong, R., Fallon, S., Wood, R., McKee, C., Chen, K., Magill, C. and Barter, P. (2017) Significance and timing of the mid-17<sup>th</sup>-century eruption of Long Island, Papua New Guinea. *The Holocene*, doi: 10.1177/0959683617735589
- Cameron, N.R., Aspden, J.A., Miswar, and Syah, H.H. (1981) Geologic Map of the Tebingtinggi Quadrangles, Sumatra. 1:250,000, 0719, Integrated Geological Survey of Northern Sumatra, Geological Research and Development Centre, Bandung, Indonesia. 1 sheet.
- Cameron, N.R., Aspden, J.A., Bridge, D.McC., Djunuddin, A., Ghazali, S.A., Hrahap, H., Hariwidjaja, Johari, S., Kartawa, W., Keats, W., Ngabito, H., Rock, N.M.S. and Whandoyo, R. (1982) Geologic Map of the Medan Quadrangles, Sumatra. 1:250,000, 0619, Integrated Geological Survey of Northern Sumatra, Geological Research and Development Centre, Bandung, Indonesia. 1 sheet.
- 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.
- Clark, M.C.G., Ghazali, S.A., Harahap, H., Kusyono and Stephenson, B. (1982) Geologic Map of the Pematangsiantar Quadrangles, Sumatra. 1:250,000, 0718, Integrated Geological Survey of Northern Sumatra, Geological Research and Development Centre, Bandung, Indonesia. 1 sheet.
- 檀原 徹 (1995) 第四紀テフラの高精度フィッシュン・トラック (FT) 年代測定—ジルコンとガラスを用いた測定法の確立に向けて—。第四紀研究, 34, 221-237.
- Francis, P.W. (1985) The origin of the 1883 Krakatau Tsunamis. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 25, 349-363.
- 福沢仁之 (1995) 天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物。第四紀研究, 34, 135-149.
- 下司信夫 (2009) 屋久島を覆った約 7300 年前の幸屋火砕流堆積物の流動・堆積機構。地学雑誌, 118, 1254-1260.
- Goto, Y., Suzuki, K., Shinya, T., Yamauchi, A., Miyoshi, M., Danhara, T. and Tomiya, A. (2018) Stratigraphy and lithofacies of the Toya ignimbrite in southwestern Hokkaido, Japan: insights into the caldera-forming eruption at Toya Caldera. *Jour. Geography*, 127, 191-227.
- 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 (1983) 火山豆石として降下堆積した十和田火山八戸火山灰。火山, 28, 25-40.
- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada Volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, 60, 507-592.
- Hasegawa, T., Nakagawa, M. and Kishimoto, H. (2012) The eruption history and silicic magma systems of caldera-forming eruptions in eastern Hokkaido, Japan. *J. Mineral. Petrol. Sci.*, 107, 39-43.
- Hasegawa, T., Matsumoto, A. and Nakagawa, M. (2016) Evolution of the 120 ka caldera-forming eruption of Kutcharo volcano, eastern Hokkaido, Japan: Geologic and petrologic evidence for multiple vent systems and rapid generation of pyroclastic flow. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 321, 58-72.
- 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.

- Hidden, 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
- Horiuchi, K., Sonoda, S., Matsuzaki, H. and Ohyama, M. (2007) Radiocarbon analysis of tree rings from a 15.5-cal kyr BP pyroclastically buried forest: a pilot study. *Radiocarbon*, 49, 1123-1132.
- 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.
- 星住英夫・尾崎正紀・宮崎一博・松浦浩久・利光誠一・宇都浩三・内海 茂・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久 (2004) 20 万分の 1 地質図幅「熊本」. 産総研地質調査総合センター.
- 星住英夫・斎藤 眞・水野清秀・宮崎一博・利光誠一・松本哲一・大野哲二・宮川歩夢 (2015) 20 万分の 1 地質図幅「大分 (第 2 版)」. 産総研地質調査総合センター.
- 石川俊夫・勝井義雄・大場与志男・佐藤博之 (1969) 北海道のカルデラについての 2・3 の問題. *火山*, 14, 97-108.
- 石田正夫・曾屋龍典・須田芳朗 (1980) 20 万分の 1 地質図幅「札幌」. 産総研地質調査総合センター.
- 石田正夫・久保和也・広島俊男 (1983) 20 万分の 1 地質図幅「室蘭」. 産総研地質調査総合センター.
- 石田正夫・三村弘二・広島俊男 (1991) 20 万分の 1 地質図幅「岩内 (第 2 版)」. 産総研地質調査総合センター.
- 石塚吉浩・尾崎正紀・星住英夫・松浦浩久・宮崎一博・名和一成・実松健造・駒澤正夫 (2009) 20 万分の 1 地質図幅「中津」. 産総研地質調査総合センター.
- 鎌田耕太郎・秦 光男・久保和也・坂本 亨 (1991) 20 万分の 1 地質図幅「八戸」. 産総研地質調査総合センター.
- Kandlbauer, J. and Sparks, R.S.J. (2014) New estimates of the 1985 Tambora eruption volume. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 286, 93-100.
- 勝井義雄 (1955) 摩周火山の地質と岩石. *地質雑*, 61, 481-495.
- Katsui, Y. (1963) Evolution and Magmatic History of Some Krakatoan Calderas in Hokkaido, Japan. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, IV, 11, 631-650.
- 勝井義雄・佐藤博之 (1963) 藻琴山地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 42p.
- Katsui, Y., Ando, S. and Inaba, K. (1975) Formation and Magmatic evolution of Mashu Volcano, East Hokkaido, Japan. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, IV, 16, 533-552.
- 川辺禎久・阪口圭一・斎藤 眞・駒澤正夫・山崎俊嗣 (2004) 20 万分の 1 地質図幅「開聞岳及び黒島の一部」. 産総研地質調査総合センター.
- 岸本博志・長谷川健・中川光弘・和田恵治 (2009) 最近約 1 万 4 千年間の摩周火山のテフラ層序と噴火様式. *火山*, 54, 15-36.
- 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.
- Ku, Y-P, Chen, C-H, Newhall, C.G., Song, S-R., Yang, T.F., Iizuka, Y. and McGeehin, J. (2008) Determining an age for the Inararo Tuff eruption of Mt. Pinatubo, based on correlation with a distal ash layer in core MD97-2142, South China Sea. *Quaternary International*, 178, 138-145.
- 久保和也・松浦浩久・尾崎正紀・牧本 博・星住英夫・鎌田耕太郎・広島俊男 (1993) 20 万分の 1 地質図幅「福岡」. 産総研地質調査総合センター.
- 工藤 崇 (2005) 十和田地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 79p.
- 黒墨秀行・土井宣夫 (2003) 濁川カルデラの内部構造. *火山*, 48, 259-274.

- 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.
- 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 (1971) 南関東のテフロクロノロジー(I) -下末吉期以降のテフラの起源および層序と年代について-. 第四紀研究, 10, 1-20.
- Machida, H. (1999) Quaternary widespread tephra catalog in and around Japan: recent progress. *The Quaternary Res.*, 38, 194-201.
- Machida, H. (2002) Quaternary volcanoes and widespread tephras of the world. *Global Environ. Res.*, 6, 3-17.
- 町田 洋・新井房夫 (1978) 南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ -アカホヤ火山灰. 第四紀研究, 17, 143-163.
- 町田 洋・新井房夫 (1994) 時間指標テフラ阿蘇 3 によって示唆される最終間氷期直後 5d 期の海面低下. 地学雑誌, 103, 749-759.
- Machida, H. and Arai, F. (1983) Extensive ash falls in and around the Sea of Japan from large Late Quaternary eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 18, 151-164.
- 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.
- 町田 洋・新井房夫・百瀬 貢 (1985) 阿蘇 4 火山灰 -分布の広域性と後期更新世指標層としての意義-. 火山, 30, 49-70.
- 町田 洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史 (1987) 北日本を広くおおう洞爺火山灰. 第四紀研究, 26, 129-145.
- 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.
- Maeno, F. and Taniguchi, H. (2007) Spatiotemporal evolution of a marine caldera-forming eruption, generating a low-aspect ratio pyroclastic flow, 7.3 ka, Kikai caldera, Japan: Implication from near-vent eruptive deposits. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 167, 212-238.
- Maeno, F. and Taniguchi, H. (2009) Sedimentation and welding processes of dilute pyroclastic density currents and fallout during a large-scale eruption, Kikai caldera, Japan. *Sedimentary Geology*, 220, 227-242.
- 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
- 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.
- 松本哲一 (1996) 若い火山岩の K-Ar 年代測定-初生比補正とその応用例-. 地質ニュース, 501, 12-17.
- 松本哲一・宇都浩三・小野晃司・渡辺一徳 (1991) 阿蘇火山岩類の K-Ar 年代測定-火山層序との整合性と火砕流試料への適応-. 日本火山学会講演予稿集, 73.



- 松本哲一・宇井忠英 (1997) 阿多火砕流堆積物の K-Ar 年代. 火山, 42, 223-225.
- 松浦浩久・尾崎正紀・脇田浩二・牧本 博・水野清秀・亀高正男・須藤定久・森尻理恵・駒澤 正 (2007) 20 万分の 1 地質図幅「山口及び見島」. 産総研地質調査総合センター.
- Matsu'ura, T., Furusawa, A., Shimogama, K., Goto, N. and Komatsubara, J. (2014) Late Quaternary tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy of deep-sea sequences (Chikyu C9001C cores) as tools for marine terrace chronology in NE Japan. *Quaternary Geochronology*, 23, 63-79.
- 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.
- 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.
- 宮本 毅・中川光弘・田中勇三・吉田まき枝 (2004) 白頭山 10 世紀噴火の噴火推移. 東北アジア研究センター叢書, 16, 15-43.
- 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.
- Nagaoka, S. (1988a) The late Quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima Bay, southern Kyushu, Japan. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan Univ.*, 23, 49-122.
- 長岡信治 (1988b) 最終間氷期に起きた鬼界カルデラの珪長質火砕流噴火と火砕サージの形成. 地学雑誌, 97, 32-44.
- 長岡信治・奥野 充・新井房夫 (2001) 10 万～3 万年前の始良カルデラ火山のテフラ層序と噴火史. 地質雑, 107, 432-450.
- 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.
- 中川光弘・宮坂瑞穂・富島千晴・松本亜希子・長谷龍一 (2018) 支笏湖南方域の火口近傍堆積物層序からみた 46ka 支笏カルデラ形成噴火推移. 地学雑誌, 127, 247-271.
- 名越幸生 (1994) 濁川カルデラの火砕流堆積物. 日本火山学会 1994 年秋季大会講演要旨, 137.
- 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. (1978) K-Ar age of the late Pleistocene eruption of Toba, north Sumatra. *Nature*, 276, 574-577.
- 奥村晃史 (1991) 北海道地方の第四紀テフラ研究. 第四紀研究, 50, 379-390.
- 奥野 充・八塚慎也・木村勝彦・坂本 稔・箱崎真隆・ホン ワン・三宅美沙・増田公明・中村俊夫 (2018) 相関係数  $^{14}\text{C}$  マッチング法の提案: B-Tm テフラを例として. 日本火山学会 2018 年秋季大会講演要旨, 230.
- 小野晃司・松本征夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977) 竹田地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 145p.
- 小野晃司・曾屋龍典・細野武男 (1982) 薩摩硫黄島地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 87p.
- 大沢あつし・須田芳朗 (1978) 20 万分の 1 地質図幅「弘前及び深浦」. 産総研地質調査総合センター.
- 大沢あつし・三村弘二・広島俊男 (1993) 20 万分の 1 地質図幅「青森 (第 2 版)」. 産総研地質調査総合センター.
- 小野晃司・渡辺一徳 (1985) 阿蘇火山地質図. 産総研地質調査総合センター.
- Oppenheimer, C. (2003) Ice core and paleoclimatic evidence for the timing and nature of the great mid-13<sup>th</sup> 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 Buntgen, U. (2017) Multi-proxy dating

- the 'Millennium Eruption' of Changbaishan to late 946CE. *Quaternary Science Review*, 158, 164-171.
- 尾崎正紀・牧本 博・杉山雄一・三村弘二・酒井 彰・久保和也・加藤碩一・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久 (2002) 20 万分の 1 地質図幅「甲府」. 産総研地質調査総合センター.
- 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.
- Reubi, O. and Nicholls, I.A. (2005) Structure and dynamics of a silicic magmatic system associated with caldera-forming eruptions at Batur volcanic field, Bali, Indonesia. *Jour. Petrol.*, 46, 1367-1391.
- Rose, W.I. and Chesner, C.A. (1987) Dispersal of ash in the great Toba eruption, 75 ka. *Geology*, 15, 913-917.
- 坂本 亨・酒井 彰・秦 光男・宇野沢 昭・岡 重文・広島俊男・駒澤正夫・村田泰章 (1987) 20 万分の 1 地質図幅「東京」. 産総研地質調査総合センター.
- 斎藤 眞・阪口圭一・駒澤正夫 (1997) 20 万分の 1 地質図幅「宮崎」. 産総研地質調査総合センター.
- 斎藤 眞・小笠原正継・長森英明・下司信夫・駒澤正夫 (2007) 20 万分の 1 地質図幅「屋久島」. 産総研地質調査総合センター.
- 斎藤 眞・宝田晋治・利光誠一・水野清秀・宮崎一博・星住英夫・濱崎聡志・阪口圭一・大野哲二・村田泰章 (2010) 20 万分の 1 地質図幅「八代及び野母崎の一部」. 産総研地質調査総合センター.
- 佐藤博之・三梨 昂 (1970) 20 万分の 1 地質図幅「網走」. 産総研地質調査総合センター.
- 佐藤博之・松田武雄・杉山友紀・須田芳朗 (1970) 20 万分の 1 地質図幅「斜里」. 産総研地質調査総合センター.
- 佐藤博之・山口昇一・松田武雄・須田芳朗 (1971) 20 万分の 1 地質図幅「標津」. 産総研地質調査総合センター.
- 佐藤博之・山口昇一・曾屋龍典・松田武雄・須田芳朗 (1972) 20 万分の 1 地質図幅「釧路」. 産総研地質調査総合センター.
- 佐藤博之・山口昇一・須田芳朗・北島真理子 (1976) 20 万分の 1 地質図幅「斜里」. 産総研地質調査総合センター.
- 佐藤博之・山口昇一 (1984) 20 万分の 1 地質図幅「紋別」. 産総研地質調査総合センター.
- 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. (1992) Krakatau revised: The course of events and interpretation of the 1883 eruption. *GeoJournal*, 28, 109-121.
- 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.
- Self, S. and Rampino, M.R. (1981) The 1883 eruption of Krakatau. *Nature*, 294, 699-704.
- 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.
- 白井正明・多田隆治・藤岡換太郎 (1997) ODP 日本海試料との対比に基づく男鹿半島安田海岸更新世中-後期テフラの同定と年代. 第四紀研究, 36, 183-196.
- Smith, V.C., Staff, R.A., Blockley, S.P.E., Ramsey, C.B., Nakagawa, T., Mark, D.F., Takemura, K., Danhara, T. and Suigetsu 2006 Project Members (2013) Identification and correlation of visible tephras in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronizing of east Asian/west Pacific palaeoclimatic records across the last 150ka. *Quaternary Science Reviews*, 67, 121-137.
- 杉山雄一・水野清秀・狩野謙一・村松 武・松田時彦・石塚 治・及川輝樹・高田 亮・荒井晃作・岡村行信・実松健造・高橋正明・尾山洋一・駒澤正夫 (2010) 20 万分の 1 地質図幅「静岡及び御前崎(第 2 版)」. 産総研地質調査総合センター.
- 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) Astronomically 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.
- Sutawidjaja, I.S. (2009) Ignimbrite analysis of Batur Caldera, Bali, based on  $^{14}\text{C}$  dating. *Jour. Geologi Indonesia*, 4, 189-202.
- Sutawidjaja, I.S., Rosana, M.F., Watanabe, K. (2015) Magma chamber model of Batur Caldera, Bali, Indonesia: compositional variation of two facies, large-volume decitic ignimbrites. *Indonesian Jour of Geoscience*, 2, 111-124.
- 鈴木桂子・宇井忠英 (1981) 阿多火砕流の流動方向. 火山, 26, 57-68.
- Suzuki, K. and Ui, T. (1983) Factors governing the flow lineation of a large-scale pyroclastic flow - an example in the Ata pyroclastic flow deposit, Japan. *Bull. Volcanol.*, 46, 71-81.
- Takamiya, H. and Nishimura, S. (1986) Thermoluminescence ages of some volcanoclastics materials. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 11, 251-257.
- 宝田晋治・星住英夫 (2016) 阿蘇 4 大規模火砕流の分布・体積と火砕流の流動堆積機構. Proceedings of the International Meeting on Eruption History and Informatics, 2016-1, 21-25.
- 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.
- 宝田晋治・工藤 崇・下司信夫・星住英夫 (2017) 入戸・八戸・阿蘇 4 火砕流堆積物の分布と噴出量の見積り. JpGU-AGU Joint Meeting 講演要旨.
- 宝田晋治・宮城磯治・東宮昭彦 (2018) 洞爺及び屈斜路火砕流の分布と噴出量推定. 日本火山学会 2018 年秋季大会講演要旨集. 116.
- 高島 勲・山崎哲良・中田英二・湯川公靖 (1992) 北海道洞爺湖周辺の第四紀火砕岩及び岩石の TL 年代. 岩鉱, 87, 197-206.
- 竹内圭史・及川輝樹・斎藤 眞・石塚 治・実松健造・駒澤正夫 (2015) 20 万分の 1 地質図幅「横須賀(第 2 版)」. 産総研地質調査総合センター.
- 寺岡易司・今井 功・奥村公男・須田芳朗・渡辺史朗 (1981) 20 万分の 1 地質図幅「延岡」. 産総研地質調査総合センター.
- Torres, R.C., Self, S., Punongbayan, R.S. (1995) Attention focuses on Taal: Decade volcano of the Philippines. *EOS*, 76, 241-248.
- Torres, R.C., Self, S. and Martinez, M.L. (1996) Secondary pyroclastic flows from the June 15, 1991, ignimbrite 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, 665-678.
- 対馬坤六 (1964) 20 万分の 1 地質図幅「野辺地」. 産総研地質調査総合センター.



- Uesawa, S., Nakagawa, M. and Umetsu, A. (2016) Explosive eruptive activity and temporal magmatic changes at Yotei Volcano during the last 50,000 years, southwest Hokkaido, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 325, 27-44.
- 宇井忠英 (1973) 幸屋火砕流一極めて薄く広がり堆積した火砕流の発見. 火山, 18, 153-168.
- Ui T., Suzuki-Kamata, K., Matsusue, R., Fujita, K., Metsugi, H. and Araki, M. (1989) Flow behavior of large-scale pyroclastic flows - evidence obtained from petrofabric analysis. *Bull. Volcanol.*, 51, 115-122.
- 宇都浩三・阪口圭一・寺岡易司・奥村公男・駒沢正夫 (1997) 20 万分の 1 地質図幅「鹿児島」. 産総研地質調査総合センター.
- 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., 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.
- Wheller, G.E. and Varne, R. (1986) Genesis of dacitic magmatism at Batur volcano, Bali, Indonesia: implications for the origins of stratovolcano calderas. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 28, 363-378.
- 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.
- 山縣耕太郎 (1994) 支笏およびクッタラ火山のテフロクロノロジー. 地学雑誌, 103, 268-285.
- 山口昇一 (1970) 20 万分の 1 地質図幅「北見」. 産総研地質調査総合センター.
- 山元孝広・伊藤順一・中川光弘・長谷川健・岸本博志 (2010) 北海道東部, 屈斜路・摩周カルデラ噴出物の放射炭素年代. 地質調査研究報告, 61, 161-170.
- 山元孝広 (2016) 支笏カルデラ形成噴火のマグマ体積. 地質調査総合センター研究資料集, no. 632, 1-51.
- 山元孝広・伊藤順一・中川光弘・長谷川健・岸本博志 (2010) 北海道東部, 屈斜路・摩周カルデラ噴出物の放射炭素年代. 地質調査研究報告, 61, 161-170.
- 柳井清治・鴈澤好博・古森康晴 (1992) 最終氷期末期に噴出した濁川テフラの層序と分布. 地質雑, 98, 125-136.
- 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) <sup>14</sup>C Wiggle-matching of the B-Tm Tephra, Baitoushan Volcano, China/North Korea. *Radiocarbon*, 52, 933-940.
- 横山勝三 (1970) 始良カルデラ北方の入戸火砕流堆積物とその地形. 地理学評論. 43, 464-482.