

## 阿蘇4・始良・洞爺噴火の火砕流・降下テフラの分布と 噴出量推定

宝田 晋治<sup>1)</sup>

### Estimation of Eruptive Volume of Large-scale Ignimbrites and Pyroclastic Falls of the Aso-4, Aira and Toya eruptions

Shinji Takarada<sup>1)</sup>

*1) Geological Survey of Japan, AIST, 1-1-1, Site 7, Higashi, Ibaraki 305-8567, Japan*

カルデラ形成を伴う大規模噴火の噴出量は、長期的噴火予測、噴火の活動度評価、地球物理学的・岩石学的な定量的評価を行うための重要な基本パラメータの1つであり、マグマ噴出量-時間階段図の高精度化のためにも重要である。ここでは、阿蘇4、始良 Tn、洞爺噴火による降下テフラ及び火砕流の噴出量を推定した。降下テフラの噴出量推定に当たっては、既存の陸域及び海域の降下テフラの情報を収集し、新たに等層厚線図を作成した上で、降下テフラの噴出量と、総噴出量を推定した。阿蘇4降下テフラの体積は、590~920 km<sup>3</sup> (240~370 km<sup>3</sup>DRE)と推定され、火砕流堆積物と合わせた阿蘇4噴火の総噴出量は、**840~1,640 km<sup>3</sup>** (380~790 km<sup>3</sup>DRE)となった。始良 Tn 降下テフラの体積は、440 km<sup>3</sup> (180 km<sup>3</sup>DRE)と推定され、火砕流堆積物と合わせた始良 Tn 噴火の総噴出量は、**940~1,040 km<sup>3</sup>** (380~430 km<sup>3</sup>DRE)となった。洞爺降下テフラの体積は、150 km<sup>3</sup> (60 km<sup>3</sup>DRE)と推定され、火砕流堆積物と合わせた洞爺噴火の総噴出量は、**230~310 km<sup>3</sup>** (100~140 km<sup>3</sup>DRE)となった。

#### 1. 阿蘇4噴火

約89kaの阿蘇4噴火に伴う降下テフラについて、既存の文献から、合計71の陸域及び海域の降下テフラの位置、層厚を集め整理した。Albert et al. (2018), Smith et al. (2013)の水月湖の降下テフラ、Aoki (2008), Furuta et al. (1986), 中嶋ほか (1996), 新井ほか (1981), 新井・町田 (1983), 清水ほか (1997), 町田ほか (1985), 青木ほか (2000), 青池 (2010)の海底の降下テフラ、檀原ほか (2010), 竹村・横山 (1989)の琵琶湖の湖底の降下テフラ、町田ほか (1985), 長橋ほか (2007)の陸域の降下テフラの文献データを使用した。

位置情報と層厚データを、GISソフト上にプロットした上で、等層厚線図を作成した。阿蘇4降下テフラの分布の特徴として、北海道北東部に層厚15 cmのデータが数点あり、それ

らは本州付近のデータに比べて厚い傾向があることが挙げられる。北海道北東部のデータを活かし、比較的広い範囲を囲むように作成した等層厚線図が、図1である（最大ケース）。一方、北海道北東部のデータは異常値として等層厚線図には反映せず、その他のデータを活かして作成した等層厚線図も検討した（最小ケース）。各等層厚線が占める面積をGISソフトで計算し、区間積分法（宝田ほか，2001）で体積を推定した。

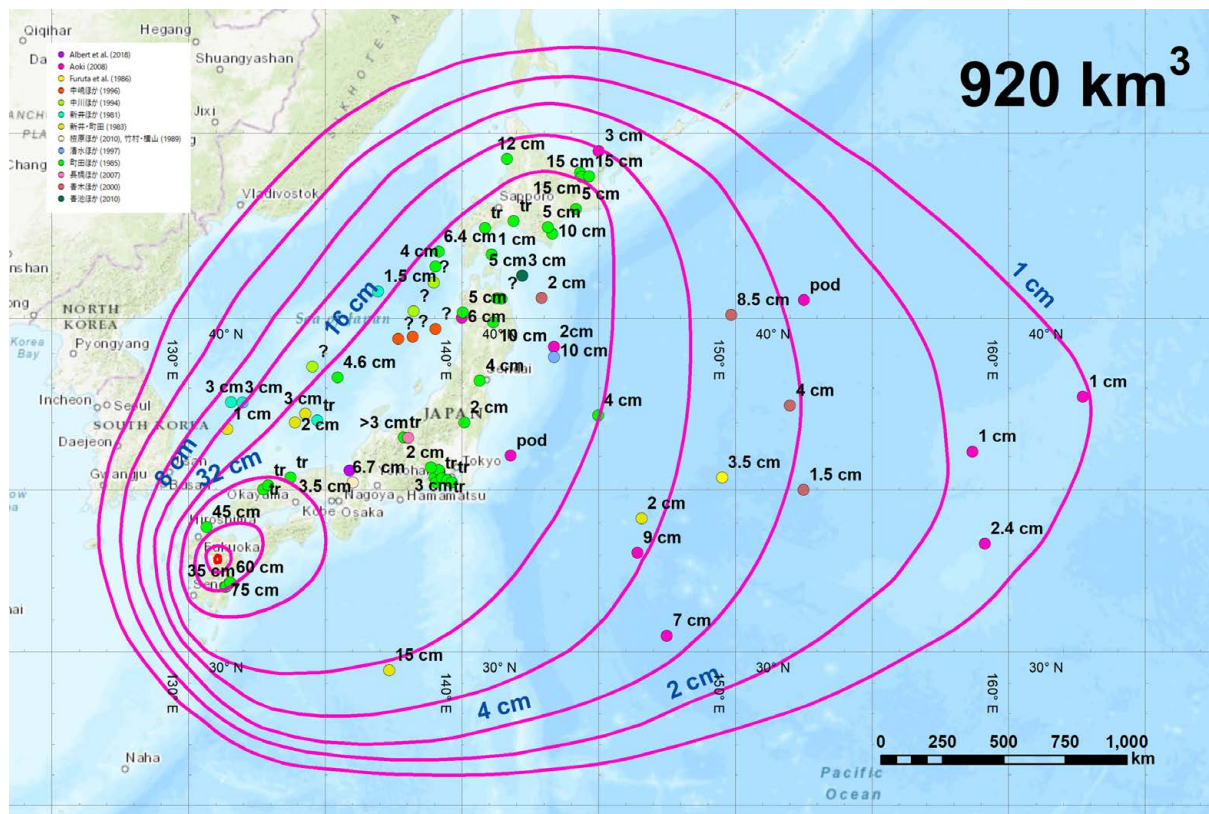


図1. 阿蘇4降下テフラの分布と等層厚線図（最大ケース）

最大ケースでは、16 cmと64 cmで区切り、グラフ上で直線近似できる3つの領域に区分して体積を求めた（図2）。火口近傍は、現在の阿蘇カルデラの面積（ $5.3 \times 10^8 \text{ m}^2$ ）まで、遠方は、 $10^{14} \text{ m}^2$ の領域まで計算した。カルデラ縁での層厚は、64 cmと128 cmの等層厚線のデータの傾向を外挿し、約3mとした。その結果、遠方から16 cmの等層厚線の領域では $4.0 \times 10^{14} \text{ kg}$ 、16～64 cmの等層厚線の領域では $4.7 \times 10^{14} \text{ kg}$ 、64 cmからカルデラ縁までの領域では $4.7 \times 10^{13} \text{ kg}$ となり、合計 $9.2 \times 10^{14} \text{ kg}$ となった。降下テフラの密度を $1,000 \text{ kg/m}^3$ と仮定すると、それぞれ、 $400 \text{ km}^3$ 、 $470 \text{ km}^3$ 、 $47 \text{ km}^3$ となり、合計**920 km<sup>3</sup>**となった。密度 $2,500 \text{ kg/m}^3$ の溶岩換算値（DRE）では、合計約 $370 \text{ km}^3$ となった。

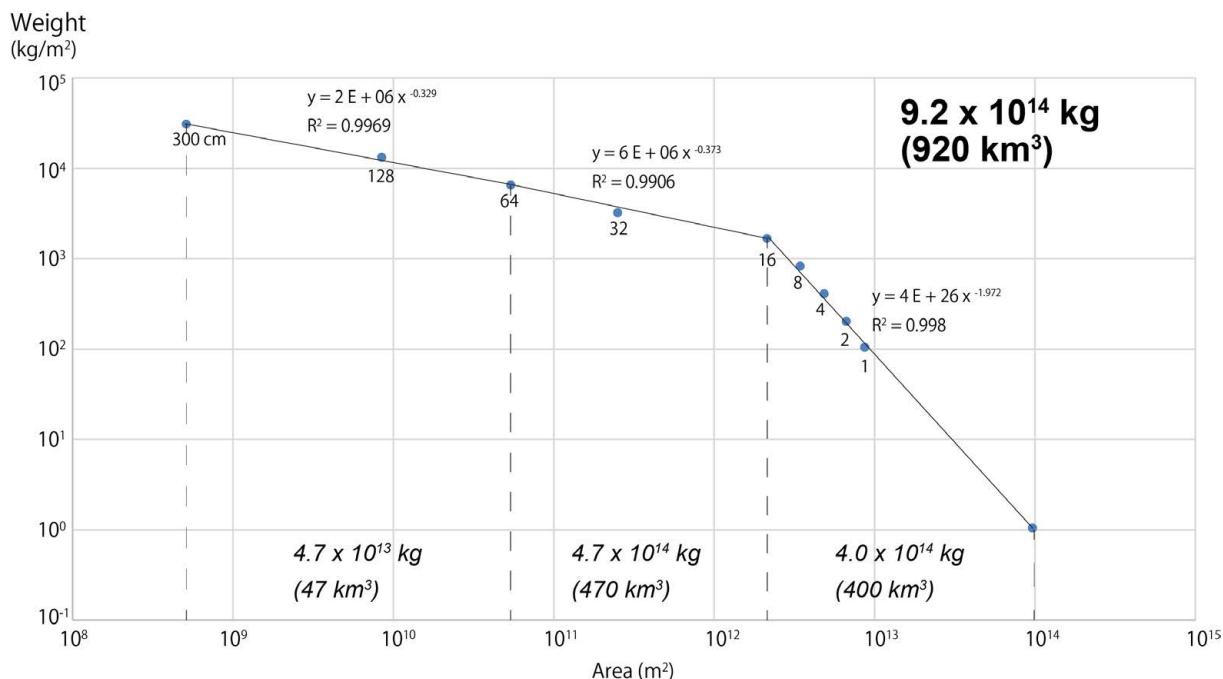


図 2. 阿蘇 4 降下テフラの各等層厚線の面積と単位面積あたりの重量の関係 (最大ケース) . 16 cm と 64 cm の等層厚線で分割し 3 つの領域に区分した. 火口近傍はカルデラの面積, 遠方は 10<sup>14</sup> m<sup>2</sup> まで計算している.

最小ケースでは, 合計 5.9×10<sup>14</sup> kg となった. 降下テフラの密度を 1,000 kg/m<sup>3</sup> と仮定すると合計 **590 km<sup>3</sup>** となった. 密度 2,500 kg/m<sup>3</sup> の溶岩換算値 (DRE) では, 合計約 240 km<sup>3</sup> となった.

今回求められた阿蘇 4 降下テフラの推定体積 **590~920 km<sup>3</sup>** (240~370 km<sup>3</sup>DRE) の値は, これまでの推定値 400 km<sup>3</sup> 以上 (町田ほか, 1985; 町田・新井, 2003) よりも有意に増加している. これは, 当時は十分考慮されていなかった遠方の海域のテフラが考慮されたことによって分布域が大幅に広がったことや, 体積の計算手法が異なることなどが原因であると考えられる.

阿蘇 4 火砕流堆積物の体積の推定値 (宝田・星住, 2016) は, 720 km<sup>3</sup> (最大), 470 km<sup>3</sup> (平均), 250 km<sup>3</sup> (最小) であり, DRE 換算では, 420 km<sup>3</sup> (最大), 270 km<sup>3</sup> (平均), 140 km<sup>3</sup> (最小) であった. したがって, 阿蘇 4 噴火の総噴出量は, **840~1,640 km<sup>3</sup>** となり, DRE 換算値では, 380~790 km<sup>3</sup> と推定される. これまでの総噴出量の推定値 600 km<sup>3</sup> (町田・新井, 2003) に比べ約 1.4~2.7 倍となった. 阿蘇 4 は, VEI7~8 クラスの噴火であったと考えられる.

## 2. 始良噴火

約 30 ka の噴火に伴う始良 Tn (始良丹沢) 降下テフラについて、既存の文献から、陸域及び海域の降下テフラの位置、層厚データを集め整理した。始良 Tn 降下テフラは、河合・三宅 (1999)、河合 (2001) の陸域の降下テフラ、Smith et al. (2013)、Albert et al. (2018) の水月湖の降下テフラ、新井・町田 (1983)、Machida and Arai (1983)、青木・新井 (2000)、町田・新井 (1998)、Furuta et al. (1986) の海域の降下テフラ、Machida and Arai (1983) の海域の降下テフラ、町田ほか (1983) の韓国の降下テフラ、工藤・小林 (2013) の東北地域北部の降下テフラの文献データを使用した。

位置情報と層厚データを元に、等層厚線図を作成した。水月湖では、35.1 cm の層厚が報告されている (Smith et al., 2013; Albert et al., 2018) ため、近畿、中部、九州付近に 32 cm の等層厚線を引いた。給源付近の宮崎では 80 cm, 90 cm の層厚が報告されているため、給源付近に 64 cm の等層厚線を引いた。各等層厚線が占める面積を GIS ソフトで計算し、阿蘇 4 と同様に区間積分法で体積を推定した。

計算に当たっては、8 cm と 32 cm の等層厚線で区切り、グラフ上で直線近似できる 3 つの領域に区分して体積を求めた。その結果、遠方から 8 cm の等層厚線の領域では  $1.1 \times 10^{14}$  kg, 8~32 cm の等層厚線の領域では  $1.8 \times 10^{14}$  kg, 32 cm からカルデラ縁までの領域では  $1.5 \times 10^{14}$  kg となり、合計  $4.4 \times 10^{14}$  kg となった。降下テフラの密度を  $1,000 \text{ kg/m}^3$  と仮定すると、それぞれ、 $110 \text{ km}^3$ ,  $180 \text{ km}^3$ ,  $150 \text{ km}^3$  となり、合計 **440 km<sup>3</sup>** となった。密度  $2,500 \text{ kg/m}^3$  の溶岩換算値 (DRE) では、合計約  $180 \text{ km}^3$  となった。

今回求められた始良 Tn 降下テフラの推定体積 **440 km<sup>3</sup>** ( $180 \text{ km}^3$ DRE) の値は、これまでの推定値  $150 \text{ km}^3$  以上 (町田・新井, 2003) よりも有意に増加している。これは、水月湖の層厚データにより、32 cm の等層厚線の範囲が広がったこと、陸域や海域のデータが増え、等層厚線図の形状が大きく異なること、体積の計算手法が異なることなどが原因であると考えられる。

始良入戸火砕流堆積物の体積の推定値 (宝田ほか, 2017) では、500 m メッシュ、1 km メッシュ、5 km メッシュを用いて、火砕流堆積物の体積を詳細に求めた。その結果、各メッシュの推定結果のうち、平均値が妥当であるとされ、体積は  $500 \sim 600 \text{ km}^3$  ( $200 \sim 250 \text{ km}^3$ DRE) と推定された。したがって、始良 Tn 噴火の総噴出量は、**940~1,040 km<sup>3</sup>** となり、DRE 換算値では、 $380 \sim 430 \text{ km}^3$  と推定される。始良 Tn 噴火は、VEI7~8 クラスの噴火であったと考えられる。

## 3. 洞爺噴火

約 106 ka の洞爺噴火に伴う洞爺降下テフラについて、既存の文献から、陸域及び海域の降

下テフラの位置、層厚を集め整理した。ここでは、町田ほか (1987) の北海道及び東北地域、日本海のデータ、工藤 (2018) の十和田地域のデータ、古澤 (2003) の岩手山東麓のデータ、八木・早田 (1989) の鬼首地域の文献データを使用した。

位置情報と層厚データを元に、等層厚線図 (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 cm) を作成した。日高で 100 cm, 男鹿で 55 cm の層厚 (町田ほか, 1987) が報告されており、等高線がややいびつな形となっている。各等層厚線が占める面積を GIS ソフトで計算し、阿蘇 4 や始良 Tn と同様に区間積分法で体積を推定した。

計算に当たっては、2 cm, 8 cm, 64 cm の等層厚線で区切り、グラフ上で直線近似できる 4 つの領域に区分して体積を求めた。その結果、遠方から 2 cm の等層厚線の領域では  $5.1 \times 10^{12}$  kg, 2~8 cm の等層厚線の領域では  $8.0 \times 10^{12}$  kg, 8~64 cm の等層厚線の領域では  $8.5 \times 10^{13}$  kg, 64 cm からカルデラ縁までの領域では  $5.0 \times 10^{13}$  kg となり、合計  $1.5 \times 10^{14}$  kg となった。降下テフラの密度を  $1,000 \text{ kg/m}^3$  と仮定すると、それぞれ、 $5 \text{ km}^3$ ,  $8 \text{ km}^3$ ,  $85 \text{ km}^3$ ,  $50 \text{ km}^3$  となり、合計 **150 km<sup>3</sup>** となった。密度  $2,500 \text{ kg/m}^3$  の溶岩換算値 (DRE) では、合計約  $60 \text{ km}^3$  となった。

今回求められた洞爺降下テフラの推定体積 **150 km<sup>3</sup>** ( $60 \text{ km}^3 \text{DRE}$ ) の値は、これまでの推定値  $150 \text{ km}^3$  以上 (町田ほか, 1987; 町田・新井, 2003) と同じ値となった。洞爺火砕流堆積物の体積の推定値は、 $80 \text{ km}^3$  (平均値) ~  $160 \text{ km}^3$  (最大値), DRE 換算値では、 $40 \text{ km}^3$  (平均値) ~  $80 \text{ km}^3$  (最大値) と推定されている (宝田ほか, 2018)。この推定値は、既存の Goto et al. (2018) の火砕流堆積物の推定値  $36.8 \text{ km}^3$  以上や、町田ほか (1987) の火砕流堆積物の推定値  $20 \text{ km}^3$  以上と比較して、2~8 倍程度となった。したがって、洞爺噴火の総噴出量は、**230~310 km<sup>3</sup>** となり、DRE 換算値では、 $100 \sim 140 \text{ km}^3$  と推定される。洞爺噴火は、VEI7 クラスの噴火であったと考えられる。

#### 4. まとめ

阿蘇 4 噴火、始良 Tn 噴火、洞爺噴火に伴う降下テフラの噴出量の推定を行った。推定に当たっては、既存の陸域及び海域の降下テフラの情報をコンパイルし、新たに等層厚線図を作成した上で、降下テフラの噴出量と、総噴出量を推定した。区間積分法 (宝田ほか, 2001) による推定では、阿蘇 4 降下テフラの体積は、 $590 \sim 920 \text{ km}^3$  ( $240 \sim 370 \text{ km}^3 \text{DRE}$ ) と推定され、火砕流堆積物と合わせた阿蘇 4 噴火の総噴出量は、**840~1,640 km<sup>3</sup>** ( $380 \sim 790 \text{ km}^3 \text{DRE}$ ) となった。始良 Tn 降下テフラの体積は、 $440 \text{ km}^3$  ( $180 \text{ km}^3 \text{DRE}$ ) と推定され、火砕流堆積物と合わせた始良 Tn 噴火の総噴出量は、**940~1,040 km<sup>3</sup>** ( $380 \sim 430 \text{ km}^3 \text{DRE}$ ) となった。洞爺降下テフラの体積は、 $150 \text{ km}^3$  ( $60 \text{ km}^3 \text{DRE}$ ) と推定され、火砕流堆積物と合わせた洞爺噴火の総噴出量は、**230~310 km<sup>3</sup>** ( $100 \sim 140 \text{ km}^3 \text{DRE}$ ) となった。

海底降下テフラなどのデータが増えて来ており、これらを使って他の大規模カルデラ形成噴火の降下テフラの噴出量の見直しを進めていく必要がある。また、他の降下テフラの算出方法の適用による推定した噴出量の検証も必要である。今回の総噴出量推定では、阿蘇4噴火と始良 Tn 噴火は 1,000 km<sup>3</sup> 以上の噴出量であった (VEI8) 可能性があることが示された。大規模カルデラ形成噴火の噴出量推定結果が、今後の長期的噴火予測、噴火の活動度評価、地球物理学的・岩石学的な定量的評価にとって、重要な基礎データとなることが期待される。

キーワード: 阿蘇4, 始良, 洞爺, 火砕流, 降下テフラ, 噴出量

### 引用文献

- Albert, P. G., Smith, V. C., Suzuki, T., Tomlinson, E. L., Nakagawa, T., McLean, D., Yamada, M., Staff, R. A., Scholaut, G., Takemura, K., Nagahashi, Y., Kimura, J. and Suigetsu 2006 Project Members (2018) Constraints on the frequency and dispersal of explosive eruptions at Sambe and Daisen volcanoes (South-West Japan Arc) from the distal Lake Suigetsu record (SG06 core). *Earth-Science Reviews*, vol.185, p.1004-1028.
- 青池 寛・西 弘嗣・坂本竜彦・飯島耕一・土屋正史・平 朝彦・倉本真一・眞砂英樹・下北コア微化石研究グループ (2010) 地球深部探査船「ちきゅう」の下北半島沖慣熟航海コア試料-物性変動から予測される古環境変動-. *化石*, no. 87, p. 65-81
- Aoki, K. (2008) Revised age and distribution of ca. 87 ka Aso-4 tephra based on new evidence from the northwest Pacific Ocean. *Quaternary International*, 178, 100-118.
- 青木かおり・新井房夫 (2000) 三陸沖海底コア KH94-3, LM-8 の後期更新世テフラ層序. *第四紀研究*, 39, 107-120.
- 青木かおり・山本浩文・山内守明 (2000) 「みらい」MR98-03 次航海及び MR99-K04 次航海で採取された海底コアの第四紀後期テフラ層序. *海洋科学技術センター試験研究報告*, no. 41, p. 49-55
- 新井房夫・町田 洋 (1983) 日本列島周辺の深海底テフラ・カタログ. *日本列島周辺の深海底堆積物の分析を中心とした第四火山活動と気候変動の研究*, 昭和 57 年度科学研究費補助金 (総合研究 A) 研究成果報告書, 7-34.
- 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高環境-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*, 21, 209-230.
- 檀原 徹・山下 透・岩野英樹・竹村恵二・林田 明 (2010) 琵琶湖 1400m 掘削試料の編年\_フィッション・トラック年代とテフラ同定の再検討. *第四紀研究*, 49, 101-119.
- 古澤 明 (2003) 洞爺火山灰降下以降の岩手火山のテフラの識別. *地雑*, 109, 1-19.
- Furuta, T., Fujioka, K. and Arai, F. (1986) Widespread submarine tephtras around Japan-Petrographic and chemical properties. *Marine Geology*, 72, 125-142.
- 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.
- 河合小百合 (2001) 始良 Tn 火山灰 (AT) の等層厚線図と分布軸の再検討. *地球科学*, 55, 51-54.
- 河合小百合・三宅康幸 (1999) 始良 Tn テフラの粒度・鉱物組成-広域テフラの地域的変異の一例-. *地質雑*, 105, 597-608.



- 工藤 崇 (2018) 十和田火山先カルデラ期噴出物に挟まれる洞爺火山灰. 地質調査研究報告, 69, 31-36.
- 工藤 崇・小林 淳 (2013) 十和田火山, 先カルデラ期~カルデラ形成期テフラの放射年代測定. 地質調査研究報告, 64, 305-311.
- Machida, H. and Arai, F. (1983) Extensive ash falls in and around the Sea of Japan from large late Quaternary eruptions. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 18, 151-164.
- 町田 洋・新井房夫 (1998) 日本列島周辺の深海底に分布するテフラ. 第四紀研究, 26, 227-242.
- 町田 洋・新井房夫・李 柄高・森脇 広・江坂輝弥 (1983) 韓半島と済州島で見出された九州起源の広域テフラ. 地学雑誌, 92, 39-45.
- 町田 洋・新井房夫・百瀬 貢 (1985) 阿蘇 4 火山灰一分布の広域性と後期更新世指標層としての意義一. 火山, 30, 49-70.
- 町田 洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史 (1987) 北日本を広くおおむ洞爺火山灰. 第四紀研究, 26, 129-145.
- 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.
- 長橋良隆・佐藤孝子・竹下欣宏・田原敬治・公文富士夫 (2007) 長野県, 高野層ボーリングコア (TKN-2004) に挟在する広域テフラ層の層序と編年. 第四紀研究, 46, 305-325.
- 中川光弘・藤岡換太郎・古田俊夫・小泉聡子 (1994) 日本海, Leg. 127, 128 コア中の火山灰層. 月刊地球, 16, 691-698.
- 中嶋 健・吉川清志・池原 研・片山 肇・木川栄一・上嶋正人・瀬戸浩二 (1996) 日本海南東部における海底堆積物と後期第四紀層序-特に暗色層の形成時期に関連して-. 地質学雑誌, 102, 125-138.
- 清水秋秀・鳥井真之・椎原美紀・尾田太良 (1997) 三陸沖海底コア KH94-3 LM8 PC5 の最下部付近にみられる火山灰層から推定される基底の年代. 熊本大学理学部紀要(地球科学), 15, 1-7.
- 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.
- 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, 国際火山噴火史情報研究集会 2016, 福岡大, 2016. 7.
- 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見積り. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 千葉, 幕張, 2017. 5.
- 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 年度秋季大会, 秋田大学, 2018. 9.
- 宝田 晋治・吉本充宏・北川淳一・平賀正人・山元孝広・川邊禎久・高田 亮・中野 俊・星住英夫・宮城磯治・西村裕一・三浦大助・廣瀬 亘・石丸 聡・垣原康之・遠藤祐司・野呂田 晋・新井田清信・石塚吉浩・工藤 崇・相沢幸治・本間宏樹・江草匡倫・石井英一・高橋 良 (2001) 有珠火山 2000 年噴火の降灰と火口近傍の状況. 地質調査研究報告, 52, 167-179.
- 竹村恵二・横山卓雄 (1989) 琵琶湖 1400m 掘削試料の層相からみた堆積環境. 陸水学雑誌, 50, 247-254.
- 八木浩司・早田 勉 (1989) 宮城県中部および北部に分布する後期更新世広域テフラとその層位. 地学雑誌, 98, 39-53.

本研究の成果は, 原子力規制庁からの平成 30 年度原子力施設等防災対策等委託費「火山影響評価に係わる技術的知見の整備」として実施したものの一部である。