

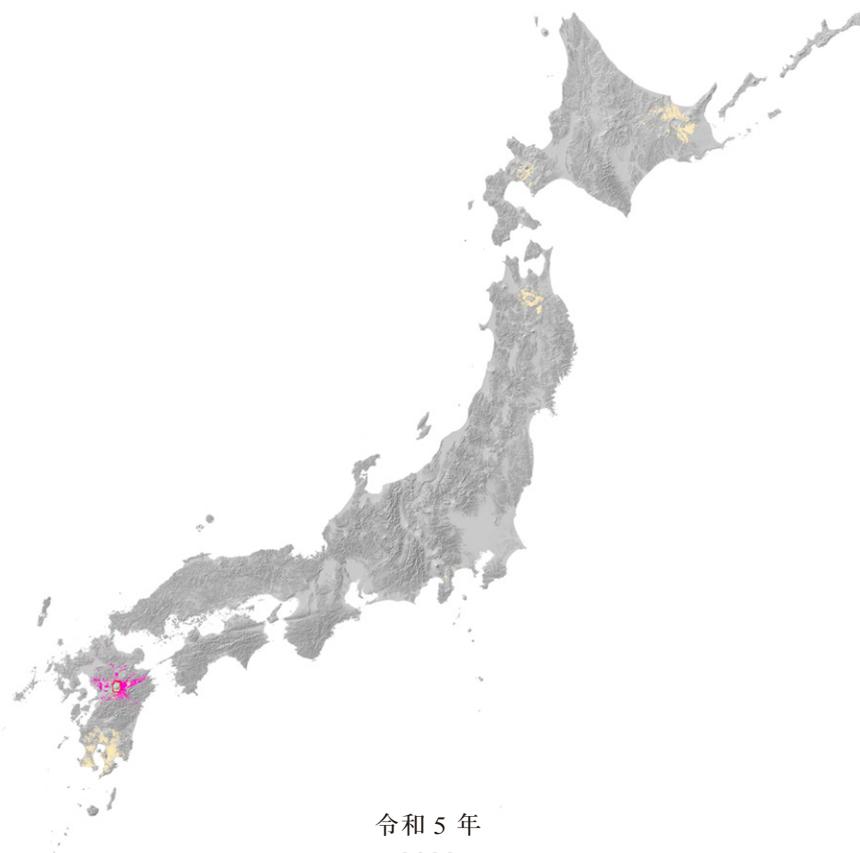
阿蘇カルデラ阿蘇4火砕流堆積物分布図 説明書

EXPLANATORY TEXT OF DISTRIBUTION MAP OF ASO-4 IGNIMBRITE AND ASSOCIATED DEPOSITS, ASO CALDERA, JAPAN

1:250,000

星住英夫・宝田晋治・宮縁育夫・宮城磯治・山崎 雅・金田泰明・下司信夫

HOSHIZUMI Hideo, TAKARADA Shinji, MIYABUCHI Yasuo, MIYAGI Isoji,
YAMASAKI Tadashi, KANEDA Yasuaki and GESHI Nobuo



令和5年
2023

目次

第1章 はじめに	1
第2章 阿蘇カルデラと阿蘇4噴火	1
2.1 阿蘇カルデラ周辺の基盤岩類及び火山岩類	1
2.2 阿蘇カルデラの噴火活動史	1
2.3 阿蘇4噴火の推移と阿蘇4火砕流堆積物	3
第3章 阿蘇4火砕流堆積物分布図	6
3.1 分布	6
3.2 堆積原面高度分布	7
3.3 層厚分布	7
3.4 軽石と石質岩片の最大粒径	7
3.5 軽石長軸配列方向分布	13
第4章 阿蘇4噴火の噴出量	13
4.1 阿蘇4火砕流堆積物の分布復元及び噴出量推定	13
4.2 阿蘇4火山灰の分布及び噴出量推定	13
謝辞・協力・出典	16
引用文献	16
Abstract	19
付図	20-29
付録	30

図 表 目 次

第 1 図	中部九州の地質概略図	2
第 2 図	阿蘇火山の主要噴出物の層序及び年代	4
第 3 図	阿蘇 4 火砕流堆積物の分布	8
第 4 図	阿蘇 4 火砕流堆積物の堆積原面高度分布	9
第 5 図	阿蘇 4 火砕流堆積物の層厚分布	10
第 6 図	阿蘇 4 火砕流堆積物に含まれる軽石の最大粒径分布	11
第 7 図	阿蘇 4 火砕流堆積物に含まれる石質岩片の最大粒径分布	12
第 8 図	阿蘇 4 火砕流堆積物中の軽石の長軸分布	14
第 9 図	阿蘇 4 火山灰の層厚分布	15
第 1 表	阿蘇 4 火砕流堆積物のステージ及びサブユニット区分	5
付図 1	阿蘇 4A 火砕流堆積物の非溶結部	20
付図 2	阿蘇 4A 火砕流堆積物の非溶結部	21
付図 3	基盤岩を覆う阿蘇 4A 火砕流堆積物	22
付図 4	阿蘇 4A 火砕流堆積物の非溶結部とその直下の岩片濃集層	23
付図 5	阿蘇 4/3 テフラとそれを覆う阿蘇 4A 火砕流堆積物の非溶結部	24
付図 6	阿蘇 4A 火砕流堆積物の強溶結部	25
付図 7	阿蘇 4A 火砕流堆積物の強溶結部と阿蘇 3B 火砕流堆積物	26
付図 8	阿蘇 4A 火砕流堆積物の岩片濃集層とそれを覆う強溶結の阿蘇 4B 火砕流堆積物	27
付図 9	阿蘇 4T 火砕流堆積物の近傍相の産状	28
付図 10	阿蘇 4 火山灰の遠方相の産状	29

阿蘇カルデラ阿蘇4火砕流堆積物分布図 説明書

星住英夫*・宝田晋治*・宮縁育夫***・宮城磯治*・山崎 雅*・金田泰明****・下司信夫*

第1章 はじめに

阿蘇カルデラは、九州中央部に位置する南北約25 km、東西約18 kmの国内最大級のカルデラである。この阿蘇カルデラからはこれまでに4回の大規模火砕流噴火が発生し、そのうち約9万年前の阿蘇4火砕流噴火(以下、阿蘇4噴火)は、国内で第四紀最大級の火山噴火である。本報告は、この阿蘇4火砕流堆積物の分布、堆積原面高度、層厚、最大軽石粒径・岩片粒径、軽石長軸配列方向や阿蘇4火砕流に伴う降灰層厚などをとりまとめたものである。

第2章 阿蘇カルデラと阿蘇4噴火

2.1 阿蘇カルデラ周辺の基盤岩類及び火山岩類¹⁾

阿蘇カルデラの位置する中部九州地域は鮮新世～第四紀の火山噴出物に広く覆われている。大分県北東端の姫島から南南西方向に両子山、鶴見岳、九重山そして阿蘇山の各火山が配列し、火山フロントをなしている。また、九州を東西に横断する別府-島原地溝(松本, 1979)には、火山フロントから背弧に向かって鶴見岳、由布岳、九重山、阿蘇山、雲仙岳などの活火山が東北東-西南西方向に配列している(第1図)。

中部九州地域では、阿蘇カルデラ以外の地域でも大規模火砕流の噴出が繰り返し発生している。九重火山北方の猪牟田カルデラからは、耶馬溪火砕流(1.0 Ma)と今市火砕流(0.85 Ma)が噴出した(Kamata, 1989; 鎌田ほか, 1994)。また由布川火砕流(0.6 Ma; 星住ほか, 1988; 星住・鎌田, 1991)や九重火山起源の宮城火砕流(0.15 Ma)、下坂田火砕流(0.11 Ma)、飯田火砕流(0.054 Ma)(小野ほか, 1977; 鎌田ほか, 1998; 長岡・奥野, 2015)などのカルデラを伴わない規模の火砕流の噴出も知られている。

¹⁾ 2.1節「阿蘇火山周辺の基盤岩類及び火山岩類」、及び2.2節「阿蘇火山の噴火活動史」は、「大規模火砕流分布図3 阿蘇4火砕流分布図」、「大規模火砕流分布図4 阿蘇3火砕流分布図」で内容が共通するため、ほぼ同一の解説文を用いている。

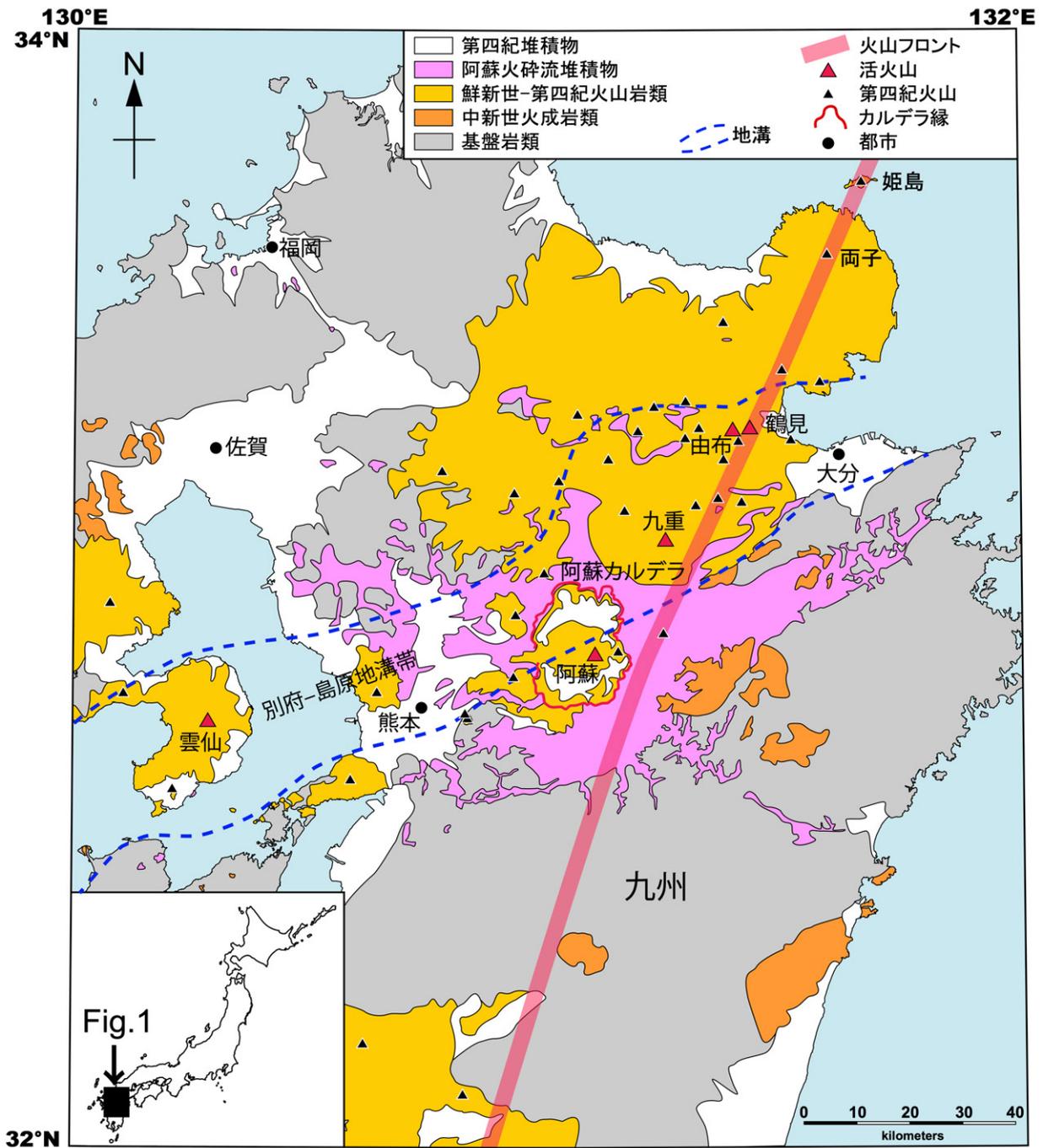
2.2 阿蘇カルデラの噴火活動史

阿蘇火山は、九州中央部に位置する複成のカルデラ火山である。阿蘇カルデラの地形的カルデラ壁は、南北約25 km、東西約18 km、比高300～700 mであり、国内最大級の大きさを誇る。カルデラの内側には堆積物で埋積された平坦なカルデラ底が広がり、その中央部には東西に延びる後カルデラ中央火口丘群(以下、中央火口丘群)がある。中央火口丘群は、現在も活発な噴火活動を繰り返す中岳のほか、いくつもの完新世の若い火山体を含む活火山群である(小野・渡辺, 1985)。本論では、阿蘇カルデラとそれに伴う中央火口丘群を阿蘇火山と総称し、4回の大規模火砕流噴火によって形成された陥没凹地及び陥没構造を阿蘇カルデラと呼ぶ。

阿蘇火山噴出物は、全岩化学組成がカリウムやナトリウムなどのアルカリ元素に富み(小野ほか, 1977; 小野・渡辺, 1983など)、阿蘇火山周辺に分布し阿蘇火山より古い先阿蘇火山岩類(小野, 1965)や、阿蘇火山と同時代の九重火山などの火山岩とは明確に異なる特徴を示す。

阿蘇火山は、繰り返し大規模火砕流を放出し、現在の阿蘇カルデラを形成した。小野ほか(1977)は、間に顕著な休止期を挟まない一連の噴火活動を“噴火サイクル”と呼び、阿蘇火山では大規模な火砕流を放出する“噴火サイクル”が4回あったことを明らかにし、それぞれの噴火サイクルで噴出した火砕流堆積物を古い方から阿蘇1、阿蘇2、阿蘇3、阿蘇4火砕流堆積物²⁾と呼んだ。本報告ではこれらの大規模火砕流噴火を、それに伴う降下テフラの活動も含めて、阿蘇1噴火、阿蘇2噴火、阿蘇3噴火、阿蘇4噴火と呼ぶこととする。阿蘇1、2火砕流堆積物は、カルデラからおよそ20～30 kmまで分布を確認できる。阿蘇3火砕流堆積物は

²⁾ 阿蘇4火砕流の表記として、“Aso-4火砕流”(小野ほか, 1977; 小野・渡辺, 1985など)や“阿蘇-4火砕流”(今井ほか, 1982; 星住ほか, 1988など)という表記がこれまで使われてきたが、火砕流に由来する広域火山灰は阿蘇4火山灰と呼ばれ(町田ほか, 1985; 町田・新井, 2003など)、表記が統一されていない。ここでは、星住ほか(2015)などと同様に、“阿蘇4火砕流”という表記を用いる。阿蘇1、2、3火砕流なども同様に表記する。



第1図 中部九州の地質概略図. Miyagi *et al.* (2023) を一部修正. 20万分の1日本シームレス地質図V2(産総研地質調査総合センター, 2022)を簡略化して作成.

Fig. 1 Schematic geologic map of central Kyushu. Partly modified from Miyagi *et al.* (2023). Geologic map is simplified from Seamless digital geological map of Japan V2, 1: 200,000 (Geological Survey of Japan, 2022). (Link: [English Version](#))

九州東岸にまで、阿蘇4火砕流堆積物は長崎県島原半島や山口県にも分布する。これらの大規模火砕流噴火の間には、大規模火砕流噴火よりは小規模な降下火砕物や溶岩を放出する噴火活動が知られている(小野ほか, 1977; 星住ほか, 2022)。

阿蘇火山噴出物の層序の概略を第2図にとりまとめた。阿蘇火山の最初期の噴出物は、阿蘇カルデラ東縁に分布する約28万年前に噴出した古閑溶岩である。古閑溶岩は安山岩溶岩で、他の阿蘇火山噴出物と同様に、先阿蘇火山岩類に比べてアルカリ元素に富む全岩化学組成をもつことから阿蘇火山の噴出物とみなされる。古閑溶岩は土壌層をはさんで阿蘇1火砕流堆積物に覆われる(田島ほか, 2017)。

阿蘇1噴火は約27万年前(松本ほか, 1991)に発生した阿蘇火山最初の大規模火砕流噴火である。その堆積物の基底部には降下軽石層を伴う(小野ほか, 1977)。田島ほか(2017)は、阿蘇1噴火堆積物を下位から阿蘇1P降下火砕堆積物、阿蘇1火砕流堆積物の主部であるデイサイト質の阿蘇1A火砕流堆積物、阿蘇1噴火末期の玄武岩質安山岩質の阿蘇1B火砕流堆積物に区分した。

阿蘇1噴火と阿蘇2噴火の間には、溶岩流(阿蘇2/1溶岩)や降下火砕物(阿蘇2/1テフラ群)の噴火が知られている。阿蘇2/1溶岩は、カルデラ東方の玉来川溶岩(小野ほか, 1977)、カルデラ北縁の象ヶ鼻溶岩及び北西縁的的溶岩(小野・渡辺, 1983)、カルデラ西縁付近の外牧溶岩(渡辺ほか, 2021)のほか、カルデラ西方では秋田溶岩(渡辺・小野, 1969)が知られている。また同じくカルデラ西方の赤井火山もこの時期に砥川溶岩を流下させた(渡辺・小野, 1969)。阿蘇2/1テフラ群は、小野ほか(1977)にその存在が記されているが詳細な層序は報告されていない。

阿蘇2噴火は約14万年前(松本ほか, 1991)に発生した。その噴出物は下位から阿蘇2A火砕流堆積物、阿蘇2B火砕流堆積物(渡辺・小野, 1969)、阿蘇2T降下スコリア(小野ほか, 1977)である。阿蘇2A火砕流堆積物の下位には、阿蘇2R火砕流堆積物(小野・渡辺, 1974)、阿蘇2TL降下軽石、阿蘇2V降下スコリア(小野ほか, 1977)が報告されている。これらのユニットは、2A火砕流の噴出に先行する噴火堆積物であるが相互の噴出順序はよくわかっていない。

阿蘇2噴火と阿蘇3噴火の間には軽石を含む降下火砕物(阿蘇3/2テフラ群)の噴出が知られており、その噴出物は下位からS, R, OPQ, Uと呼ばれる(小野ほか, 1977)。このうち、3回目のOPQテフラが最も規模が大きい。

阿蘇3噴火は約13万年前(松本ほか, 1991; 長橋ほか, 2007)に発生した大規模火砕流噴火である。阿蘇3噴火の詳細については「大規模火砕流分布図3 阿蘇カルデラ阿蘇3火砕流堆積物分布図」にて報告する。この噴火の噴出物は下位から阿蘇3W降下軽石、阿蘇3A火砕流堆積物、阿蘇3B火砕流堆積物、阿蘇3C火砕流堆積物である(小野ほか, 1977)。阿蘇3A火砕流堆積物は本質物としてデイサイト軽石を、阿蘇3B火砕流堆積物は安山岩スコリアを、阿蘇3C火砕流堆積物は多斑晶の安山岩スコリアを含む。

阿蘇3噴火と阿蘇4噴火の間には、37層以上の降下火砕物(阿蘇4/3テフラ群)を噴出した活動が認められる。この

間の噴火活動は苦鉄質スコリア噴火から始まり、徐々に噴火間隔が短くなってから珪長質軽石噴火へ変化してから噴火規模が大きくなった。阿蘇4火砕流噴出の約1万年前からは噴火頻度が低下し、斑晶組み合わせも変化した(星住ほか, 2022)。また、阿蘇カルデラ西方の大峯(大峰)火山³⁾は、阿蘇4噴火前の近い時期に噴出したもので、火砕丘と厚い溶岩流から構成される(渡辺・小野, 1969)。

阿蘇4噴火は約9万年前に発生した阿蘇火山最大の噴火である。松本ほか(1991)は、阿蘇4火砕流堆積物のK-Ar年代測定値として 89 ± 7 kaを報告した。長橋ほか(2004, 2007)は長野県高野層中の阿蘇4火山灰の層位と酸素同位体比との対応から、阿蘇4噴火を88.0 kaとした。Aoki(2008)は北西太平洋海洋底のコア中の阿蘇4火山灰の層位と酸素同位体比から、阿蘇4噴火の年代を87 kaとしている。Albert *et al.* (2019)は、阿蘇4火砕流堆積物中の角閃石結晶の⁴⁰Ar/³⁹Ar年代値として 86.1 ± 1.1 kaを報告している。阿蘇4噴火の詳細については次章で記述する。

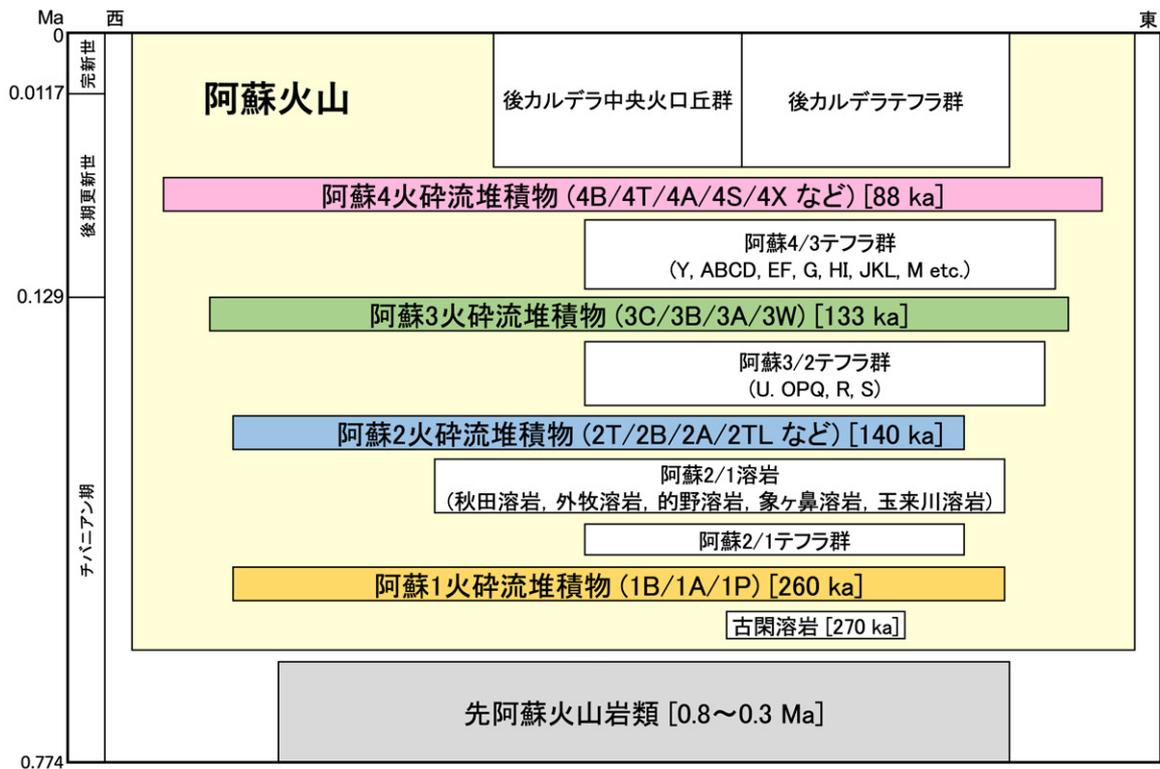
阿蘇4噴火のあと、カルデラ内に現在の中央火口丘群が生成された。中央火口丘群は、高岳(標高1592.3 m)、中岳(1506 m)、烏帽子岳(1336.7 m)、杵島岳(1326 m)、往生岳(1237.5 m)、米塚(954 m)などの山体の集合体であり、玄武岩質からデイサイト質の成層火山体、火砕丘、溶岩ドームなどからなる。また、これらの火山体の下位にはもとの火山体の形がわからないより古い噴出物が一部に露出している(小野・渡辺, 1983, 1985)。

中央火口丘群の噴火活動では、数10層にも及ぶ降下火砕物の噴出が認められる(宮縁ほか, 2003, 2004; Miyabuchi, 2009, 2011)。その多くは降下スコリアであり、降下軽石を伴っている。20世紀半ば以降の噴火活動は、すべて中岳第1火口で起きている(気象庁, 2013)。黒色砂状の火山灰を放出する灰噴火(小野ほか, 1995; Ono *et al.*, 1995)のほか、活発な時期にはスコリアを放出するストロンボリ式噴火やマグマ水蒸気爆発をしばしば起こしている(渡辺・池辺, 1996; 池辺ほか, 2008; Miyabuchi *et al.*, 2018)。

2. 3 阿蘇4噴火の推移と阿蘇4火砕流堆積物

阿蘇4噴火は、最初期の小規模な降下火砕物と火砕流を噴出する活動で開始し、大規模火砕流の噴出に移行した。阿蘇4火砕流堆積物は、本質物の種類(軽石かスコリアか)、堆積物の岩相(色調、粒度、溶結度など)、本質物の岩質(斑晶量、斑晶組み合わせ、全岩化学組成など)の違いにより複数のサブユニットに区分される(第1表)。これらのサブユニット間には長い時間間隙を示す土壌層や顕著な侵食間隙などは認められないことから、ほぼ連続的に噴出・堆積したと考えられる。阿蘇カルデラの西側では阿蘇4火砕流堆積物の粒度や構成物の変化が大きく、多数のサブユニットに区分されている。一方、東側には西側にはない最初期のサブユニットが確認されるが、西側で認められるスコリアを多量に含むサブユニットを欠いている。このようにサ

³⁾ 渡辺・小野(1969)は大峰火山と表記したが、地理院地図の地名表記にあわせて大峯火山と表記する。



第2図 阿蘇火山の主要噴出物の層序及び年代。

Fig. 2 Stratigraphy and chronology of the major products of Aso Volcano. (Link: [English Version](#))

サブユニット区分は、カルデラの西側と東側で異なっている。これらのサブユニットを本質物の化学組成や斑晶組み合わせの変化や岩片濃集層の存在などに着目して、阿蘇4噴火を噴火の推移の順に第1期から第4期の4つのステージに区分した(第1表)。Watanabe (1979)が、西側の阿蘇4火砕流堆積物を本質物の全岩組成変化から識別した2つの“サブサイクル”は、本報告の第3期及び第4期に相当する。

阿蘇4噴火最初期、第1期の噴出物はカルデラ東側近傍(カルデラ壁から10数km以内)で観察できる。下位から阿蘇4X降下軽石及び阿蘇4X火砕流堆積物である。阿蘇4X降下軽石は、阿蘇4/3テフラ群最上部のYテフラを土壌を挟んで覆い、他の阿蘇4噴火の堆積物とは異なり黒雲母斑晶を含むことが特徴である。熊本県高森町胡桃原では、厚さ約1.3 mの阿蘇4X降下軽石があり、それを同質の火砕流堆積物(阿蘇4X火砕流堆積物)が直接覆う(星住ほか, 2022)。

第2期の噴出物は、下位から4L降下火山灰及び4S火砕流堆積物である。阿蘇4L降下火山灰は、カルデラ縁から東側10 km以内で確認され、後述の4S火砕流堆積物の基底にある成層した青灰色の火山灰層である。最大層厚はカルデラ東縁で15 cmである。阿蘇4S火砕流堆積物は、カルデラ縁の東側と北側10 km以内で確認できる。白色軽石を含む非溶結の火砕流堆積物で角閃石斑晶をわずかに含み、

第3期の阿蘇4A火砕流堆積物の岩片濃集層に覆われる。

第3期の噴出物は、阿蘇4噴火による噴出物の大部分を占める。第3期の噴出物基底には顕著な岩片濃集層を含むのが特徴である。阿蘇カルデラ西側では6つのサブユニットに区分される(Watanabe, 1978)。

阿蘇4O火砕流堆積物は、カルデラ西方の熊本県益城町小谷付近に分布する白色軽石を多量に含む非溶結の火砕流堆積物である。Watanabe (1978)の“Oyatsu white pumice-flow”に相当し、層厚が厚いにもかかわらず全体に非溶結であるのが特徴である。本質物は白色軽石で黒色スコリアをわずかに伴う。阿蘇4O火砕流の基底には、軽石火山礫や異質角礫に富み細粒物が乏しい岩片濃集層を伴っている(中澤ほか, 2018)。阿蘇4O火砕流堆積物と後述の阿蘇4K火砕流堆積物の直接の上下関係は分布地域が重複しないため不明であるが、Watanabe (1978)は阿蘇4O火砕流堆積物をカルデラ西側地域での阿蘇4噴火最初期の堆積物としているので、ここでもそれに従う。

阿蘇4K火砕流堆積物は、熊本県南関町肥猪などに分布するほぼ全量が火山灰粒子からなる溶結した火砕流堆積物であり、Watanabe (1978)の“Koei ash-flow”に相当する。軽石火山礫をわずかにしか含まないことのほか、他の阿蘇4火砕流堆積物の本質物と比較して角閃石斑晶をほとんど含まない特徴がある(Watanabe, 1979)。

第1表 阿蘇4火砕流堆積物のステージ及びサブユニット区分. 西側近傍はカルデラ縁から30～40 km以内, 北側, 東側近傍はカルデラ縁から10～20 km以内.

Table 1 Stages and subunits of the Aso-4 Ignimbrite. The western proximal area means within 30-40 km of the caldera rim. The eastern and northern proximal areas mean within 20 km of the caldera rim.
(Link: [English Version](#))

	西側遠方	西側近傍	北側近傍	東側近傍	東側,北側,南側遠方
第4期	—	阿蘇4KS pfl	—	—	—
	—	—	阿蘇4B pfl	阿蘇4B pfl	—
	阿蘇4T pfl	阿蘇4T pfl	阿蘇4T pfl	—	阿蘇4T pfl
第3期	—	阿蘇4BS pfl	—	—	—
	—	阿蘇4M pfl	阿蘇4A pfl	阿蘇4A pfl	阿蘇4A pfl
	阿蘇4Y pfl	阿蘇4Y pfl			
	—	阿蘇4H pfl			
		阿蘇4K pfl			
阿蘇4O pfl					
第2期	—	—	—	阿蘇4S pfl	—
	—	—	—	阿蘇4L afa	—
第1期	—	—	—	阿蘇4X pfl	—
	—	—	—	阿蘇4X pmfa	—

本質物

	スコリア(玄武岩, 玄武岩質安山岩) ≥ 軽石(角閃石デイサイト)
	軽石(角閃石デイサイト)
	火山灰(デイサイト)
	軽石(黒雲母デイサイト)

pfl: 火砕流堆積物, pmfa: 降下軽石, afa: 降下火山灰

阿蘇4H火砕流堆積物は、熊本県宇城市鳩平⁴⁾などに分布するWatanabe (1978)の“Hatobira pumice-flow”⁴⁾に相当する大部分が溶結した火砕流堆積物である。各地で阿蘇4K火砕流堆積物を覆っている。堆積物に含まれる溶結レンズのサイズが数cm以下で上位の阿蘇4Y火砕流堆積物よりもやや粒径が小さい。

阿蘇4Y火砕流堆積物は、Watanabe (1978)の“Yame pumice-flow”に相当する。阿蘇4K火砕流堆積物及び阿蘇4H火砕流堆積物を各地で覆うのが観察される。西側の阿蘇4火砕流堆積物のサブユニットの中で最も広範囲に分布する大規模な噴出物で福岡市、天草市など遠方まで到達している。火砕流堆積物の厚い部分では下部が溶結し上部に非溶結部を伴う。非溶結部が風化した部分は、かつて“八女粘土”⁵⁾(郷原ほか, 1964)と呼ばれていた。

阿蘇4M火砕流堆積物は、熊本県和水町用木⁵⁾などに分布するWatanabe (1978)の“Motoigi pumice-flow”⁵⁾に相当する。阿蘇4Y火砕流堆積物を覆う。粗粒の灰色軽石を含む

非溶結の火砕流堆積物であり、しばしば少量の縞状軽石やスコリアを伴う。

阿蘇4BS火砕流堆積物は、熊本県菊池市旭志弁利などに分布するWatanabe (1978)の“Benri scoria-flow”に相当する。阿蘇4M火砕流堆積物を覆う。黒色スコリアを含む非溶結の火砕流堆積物であり、灰色の軽石や縞状軽石を伴う。以上の阿蘇カルデラ西側のサブユニットのうち、阿蘇4O火砕流堆積物、阿蘇4K火砕流堆積物、阿蘇4H火砕流堆積物及び阿蘇4M火砕流堆積物はカルデラ縁からおよそ40 km以内に、阿蘇4BS火砕流堆積物は、カルデラ縁から10数kmの範囲に分布する。それより遠方では阿蘇4Y火砕流堆積物と第4期の阿蘇4T火砕流堆積物のみが分布している。

阿蘇カルデラ北～東～南側での第3期の噴出物は、阿蘇4A火砕流堆積物である。阿蘇4A火砕流堆積物は、厚いサブユニットで、とくに谷埋め地域で下半部が強溶結し、上部へ向かい弱溶結部をへて非溶結部に漸移する。基盤岩類や阿蘇3火砕流堆積物などの台地上や斜面に堆積した層厚の薄い地域では全体が非溶結である。強溶結部は、暗灰色基質中に黒色ガラスレンズを含む堅固な岩石である。弱溶結部では灰～暗灰色基質中に扁平化した軽石を含む。溶結部では径1～2 mの柱状節理が発達する。非溶結部では灰

⁴⁾ Watanabe (1978)は鳩平を“Hatobira”と読んだが、国土地理院地図では“はとのひら”。

⁵⁾ Watanabe (1978)は用木を“Motoigi”と読んだが、国土地理院地図では“もてぎ”。

～暗灰色火山灰基質中に軽石を含む。軽石中の気泡は引き延ばされている場合が多い。ガラスレンズの露頭面での長さや軽石の粒径(長径)は、カルデラに近い地域では1 mを超えるものもあるが遠方では数mm～数cm程度となる。阿蘇4A火砕流堆積物は、西側の阿蘇4Y火砕流堆積物と分布が連続していて共通の岩相を示すことから、両者は同時期に噴出したものなのであろう。阿蘇4A火砕流堆積物の基底部に、軽石火山礫や角閃石斑晶をほとんど含まない火山灰主体の部分が認められる場合があり、カルデラ西側の阿蘇4K火砕流堆積物に相当する可能性がある(吉岡ほか, 1997)。また阿蘇4A火砕流の基底部付近の非溶結部に黒色スコリアをわずかに含む場合がある。西側でも基底部に微量のスコリアを含む阿蘇4O火砕流堆積物が認められることなどを考慮すると、東側の阿蘇4Aは西側の阿蘇4Yだけではなく、阿蘇4Oから阿蘇4Mまでに対比されるのかもしれない。

阿蘇4A火砕流堆積物の基底には、しばしば非溶結で異質角礫を多く含む細粒物に乏しい岩片濃集層(小野ほか, 1977の“異質角礫火砕流”)を伴うことがある。カルデラ壁では含まれる岩片や軽石の径が大きく厚い傾向にあるが、層厚や径のカルデラからの距離による変化は不規則である(小野ほか, 1977)。含まれる岩片の種類は、カルデラ近傍では先阿蘇火山岩類に由来する輝石安山岩などが最も多い。基盤に由来するとみられる花崗岩類や変成岩類なども少量認められる(笹田, 1987; 高木ほか, 2007)。カルデラから離れた地域では、火砕流が流走した地域の地質を反映した岩種となっており、流走中に火砕流に取り込まれたものが多いと考えられる。

第4期の噴出物は、阿蘇4T火砕流堆積物、阿蘇4B火砕流堆積物、阿蘇4KS火砕流堆積物である。阿蘇4T火砕流堆積物(星住ほか, 1988)は、非溶結でオレンジ色をした火砕流堆積物であり、Watanabe (1978)のTosu orange pumice-flowに相当し、かつては鳥栖ローム(郷原ほか, 1964)と呼ばれていた。層厚は1～2 m程度と薄い場合が多い。カルデラ近傍では、岩片、軽石火山礫や中～極粗粒砂サイズの火山灰に富み細粒物に乏しい岩片濃集層を伴うか、岩片濃集層のみが分布する(Suzuki-Kamata and Kamata, 1990; 鎌田, 1997)。阿蘇4T火砕流堆積物は、宮崎県国富町、熊本県天草市、福岡県北部や山口県など遠方でも観察されるため、薄く広く流走する広域拡散型火砕流(low aspect-ratio ignimbrite)であると考えられている(Watanabe, 1984; 渡辺, 1986)。

阿蘇4B火砕流堆積物は、阿蘇4A火砕流堆積物の上部非溶結部を覆う強溶結のサブユニットで、カルデラの近傍東側に分布する。阿蘇4Aの強溶結部と同様に柱状節理が発達する。阿蘇4B火砕流堆積物の上面はしばしば赤色酸化し、薄い(1～2 m程度)弱溶結部や非溶結部が認められることがある。4Aと4Bの境界では、数m以内で非溶結から強溶結へと漸移する様子が各地で観察され、間には土壌や降下火砕物などは認められない。カルデラ近傍では、阿蘇4A火砕流の岩片濃集層を直接阿蘇4B火砕流堆積物が覆う場合もある。カルデラ北方では、非溶結の阿蘇4T火砕流堆積物の上位に溶結した阿蘇4B火砕流堆積物が累重する

(鎌田, 1997)が、カルデラ東側近傍では、阿蘇4A火砕流堆積物を阿蘇4B火砕流堆積物が直接覆い阿蘇4T火砕流堆積物を欠いているように見える。さらにカルデラ東方遠方の4B到達限界より東側では、阿蘇4A火砕流堆積物の上位に阿蘇4T火砕流堆積物が重なる(寺岡ほか, 1992; 酒井ほか, 1993など)。このことは、渡辺(1986)が指摘したように、4T火砕流堆積物は4B火砕流堆積物と同時異層の可能性はある。阿蘇4KS火砕流堆積物は、熊本県菊池市九ノ峰などに分布するWatanabe (1978)のKunomine scoria-flowに相当する。黒色スコリアを含む非溶結の火砕流堆積物で白～オレンジ色の軽石を伴う。カルデラ東側では、阿蘇4KS火砕流堆積物のような黒色スコリアを主体とする火砕流堆積物はないが、阿蘇4B火砕流堆積物上面の非～弱溶結部に微量の黒色スコリアを含むことから、阿蘇4KSと阿蘇4Bも同時異層である可能性が考えられる。

第3期と第4期の間の時間間隙の有無について、Watanabe (1978)は、“Benri scoria-flow deposit”(阿蘇4BS火砕流堆積物)の上面がわずかに風化し“Tosu orange pumice-flow deposit”(阿蘇4T火砕流堆積物)に覆われるため、若干の時間間隙があったと考えている。中島・藤井(1998)は、阿蘇4A火砕流堆積物と阿蘇4B火砕流堆積物の残留磁化方位がやや異なることから、両者の間には地磁気永年変化を反映するほどの時間間隙があるとした。藤井ほか(2000)は、山口県の阿蘇4T火砕流堆積物の磁化方位が阿蘇4Aと4Bの間であるとした。日本各地の阿蘇4火山灰の磁化方位は阿蘇4A火砕流堆積物の磁化方位と一致する(中島・藤井, 1998; Fujii *et al.*, 2001)。一方、すでに述べたようにカルデラ近傍での阿蘇4A火砕流堆積物と阿蘇4B火砕流堆積物の間には、風化土壌や顕著な侵食間隙はこれまでに確認されていない。第3期と第4期の間の時間間隙の評価については、今後さらに検討が必要である。

阿蘇4火砕流噴出時に発生した細粒火山灰(阿蘇4火山灰)が、広域火山灰として九州以東の日本列島を広く覆っている(町田ほか, 1985; 町田・新井, 2003)。阿蘇4火山灰を含む阿蘇火山起源の火山ガラスの化学組成は、他の火山起源のテフラと大きく異なり、アルカリ元素に富んでいる(古田ほか, 1983; 奥村, 1985; 青木・町田, 2006; など)。

第3章 阿蘇4火砕流堆積物分布図

3.1 分布

阿蘇4火砕流堆積物の現存分布を第3図に示す。本図は、20万分の1日本シームレス地質図V2, 2022年3月11日版(産総研地質調査総合センター, 2022)及び20万分の1日本火山図Ver. 1.0d(産総研地質調査総合センター, 2021)を基に、文献データや現地調査の結果を加えて編集した。参照した文献のリストを付録1に掲載した。阿蘇4火砕流堆積物が、薄い降下テフラや段丘堆積物により被覆されている場合は、被覆層を省略した場合がある。阿蘇4火砕流堆積物が、孤立して小規模に分布する場合は、位置を示す記号で示した。また、参照した文献に分布地の地名しかない場

合は、その地名の位置に小規模分布地点の記号を示した。なお、2.3章で述べたように、阿蘇4火砕流堆積物は多数のサブユニットに区分されているが、25万分の1という小縮尺の地図では表示が困難なことから、サブユニット間の境界が不明瞭な場合があることから、ここではサブユニットの分布を区分せず一括して阿蘇4火砕流堆積物の分布としている。

阿蘇カルデラの近傍での阿蘇4火砕流堆積物は、より古い阿蘇1～阿蘇3火砕流堆積物とあわせて広大な火砕流台地を形成して分布している。阿蘇カルデラ東側では、阿蘇カルデラ中心から約70 km離れた九州東岸の大分県臼杵市付近まで、西側では阿蘇カルデラ中心から約60 km離れた有明海沿岸まで火砕流堆積物がほぼ連続的に追跡できる。阿蘇カルデラから南北方向は九州山地などの地形的高地に阻まれて火砕流堆積物の分布は限定的だが、北方では約50 km離れた大分県日田市付近、南方では20 km以上離れた熊本県山都町付近までほぼ連続的に分布する。それより遠方では阿蘇4火砕流堆積物の地上での分布は断片的となる。阿蘇4火砕流の遠方の分布は、北北東ではカルデラ中心から約170 km離れた山口県中北部まで、北西ではカルデラ中心から約140 km離れた長崎県松浦市まで、南西及び南東ではカルデラ中心から約100 km離れた天草市や宮崎平野まで阿蘇火砕流堆積物の分布が知られている。

海岸近くの平野部には阿蘇4火砕流堆積物が伏在していることが、ボーリングデータによって知られている。熊本平野(石坂ほか, 1992)、大分平野(首藤・日高, 1971)、筑紫平野(下山ほか, 1994)、福岡平野(下山ほか, 1991; 木村ほか, 2013)、八代平野(東ほか, 2014)などの報告がある。また、内陸部の河川沿いや山間盆地の沖積層、段丘堆積物や扇状地堆積物、阿蘇4火砕流堆積物よりも若い火山の山麓地域などでも、その下位に阿蘇4火砕流堆積物が確認される場合がある。これらの伏在確認地点は断片的で地下での阿蘇4火砕流堆積物の分布の詳細はよく分かっていない。本報告では、阿蘇4火砕流堆積物がより若い地層・岩体や埋立地の下位に存在している、あるいは存在していた可能性が高い地域を「阿蘇4火砕流堆積物推定分布域」として分布図に示した。

阿蘇4噴火、約9万年前の海水準高度は、Cutler *et al.* (2003)や遠藤(2015)の海水準変動曲線に基づくと-50 mである。分布図には参考として、現在の-50 m等深線を示した。-50mの等深線の位置は、阿蘇4噴火後の堆積・侵食作用や地殻変動を考慮していないが、阿蘇4噴火時の海岸線に近い位置を示していると考えられる。

3.2 堆積原面高度分布

阿蘇4火砕流堆積物の復元堆積原面高度分布を第4図に示す。堆積原面高度の読み取りは以下の方法で行った。阿蘇4火砕流堆積物分布域に水平あるいは緩傾斜する平坦面が広がる場合にはそれを火砕流堆積面とみなしその高度を読み取った。平坦面がない地域では、堆積面に近い高度と考えられる尾根や峠などの標高を読みとった。読み取りは

国土地理院の地理院地図を用い、堆積面上の等高線から高度を読み取った。阿蘇4火砕流堆積物が厚い堆積物に覆われている場合には、阿蘇4火砕流堆積物の露頭の上端標高を火砕流堆積面標高とした。阿蘇4火砕流堆積物がより新しい堆積物に覆われて伏在している地域では、ボーリング資料などに記載された阿蘇4火砕流堆積物の上面高度を用いた。近隣に複数の地点がある場合は、その中で最も標高の高いデータを採用した。谷底など明らかに火砕流堆積物堆積後に侵食を受けている地点のデータは採用していない。

復元した堆積原面高度は、基本的にはカルデラ縁で最も高く、外側に向かって緩やかに高度を下げていく。ただし、標高が高い山地がある場所では堆積原面高度も高くなっている。例えば南側のカルデラ縁から南方の緑川流域に向かって堆積原面高度は低下するが、さらに南方の九州山地では堆積原面高度は上昇する。同様に福岡県平尾台や山口県の中国山地においても堆積原面高度は上昇している。

3.3 層厚分布

阿蘇4火砕流堆積物の現存層厚分布を第5図に示す。阿蘇4火砕流堆積物の層厚は、文献調査やボーリングコア情報の公開サイトなどに加え現地調査による層厚データを加えている。参照した文献やボーリングコア情報のリストを付録2に掲載した。

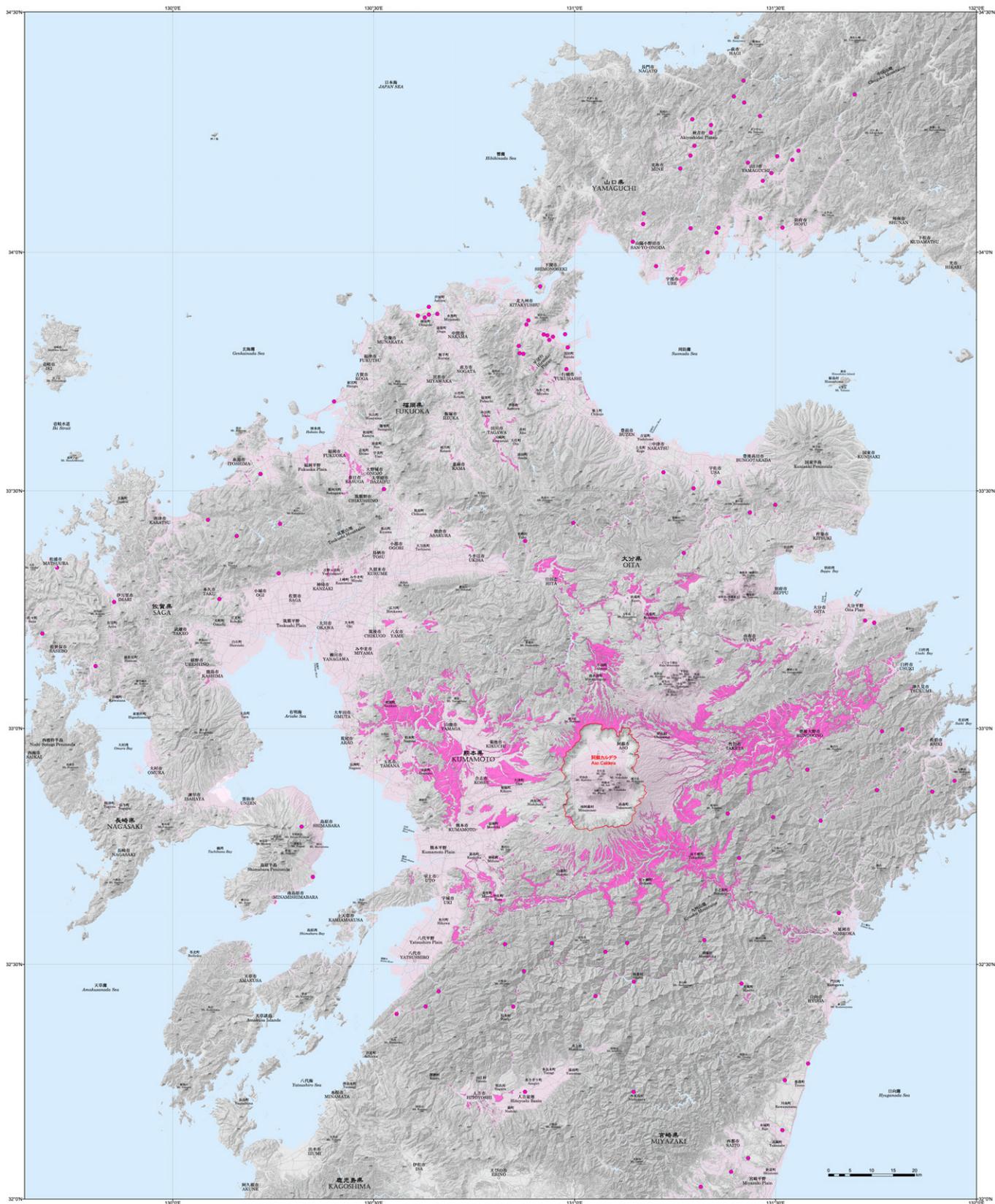
阿蘇4火砕流堆積物の層厚は、概ねカルデラ近傍で厚く、遠方で薄くなる傾向がみられる。しかしながら、細かく見ていくとかなり複雑に変化している。これは、谷埋めをした場所では厚く、台地や山地に乗り上げた場合には薄くなることや、堆積後の削剥の程度の差を見ていると考えられる。

3.4 軽石と石質岩片の最大粒径

阿蘇4火砕流堆積物中の軽石の最大粒径を116地点、石質岩片の最大粒径を111地点で測定した。露頭面に露出する最大の軽石及び石質岩片を1露頭あたり約10～20個抽出し、その長軸の長さ(長径)を測定した。露頭ごとの平均値、最大値、最小値を求めた。第6図に各露頭の軽石の長径の平均値の分布を示す。第7図に、各露頭の石質岩片の長径の平均値を示す。平均値に加え、各地点での最大粒径の範囲(最大と最小の長径)を示した。

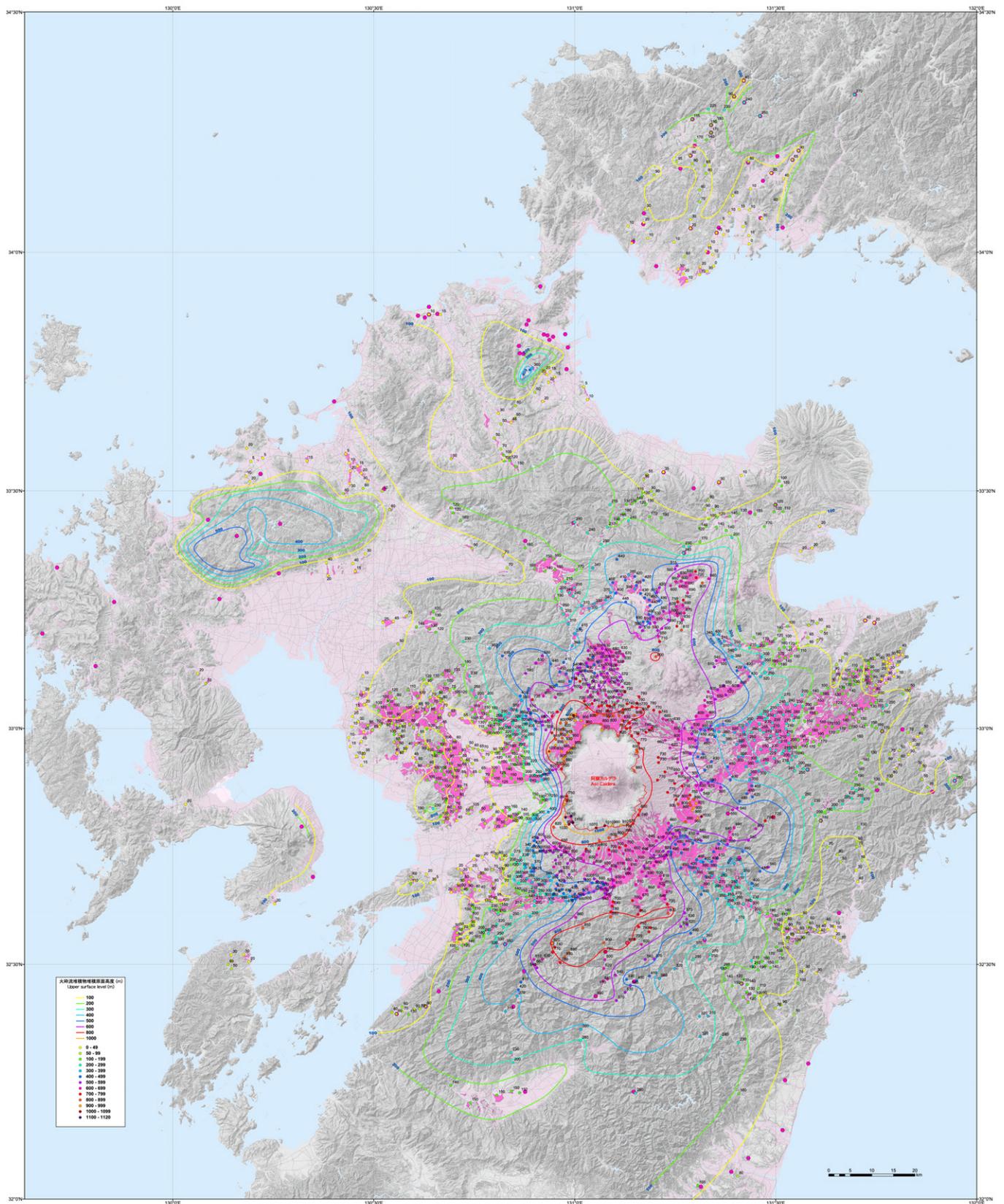
軽石の長径の平均値は、カルデラ近傍では、300～600 mm程度と比較的大きい地点が多数見られる。とくにカルデラ北側や東側、南東側で比較的大きい傾向がある。カルデラ中心からの距離が60 km以上の地点になると、長径の平均粒径は200 mm以下となり、多くの地点で10～100 mm程度となる。距離100 km以上の地点では、長径の平均粒径は5～19 mm程度とかなり細粒となる。

石質岩片の長径の平均値は、カルデラ西で587 mm、南東部で468 mmと比較的大きい値を示す(岩片濃集層)。カルデラ中心からの距離60 kmの地点までは、平均値は徐々に値が小さくなり、10～100 mm程度となる。60～100 kmの地点では、5～40 mm程度となる。およそ100 km以



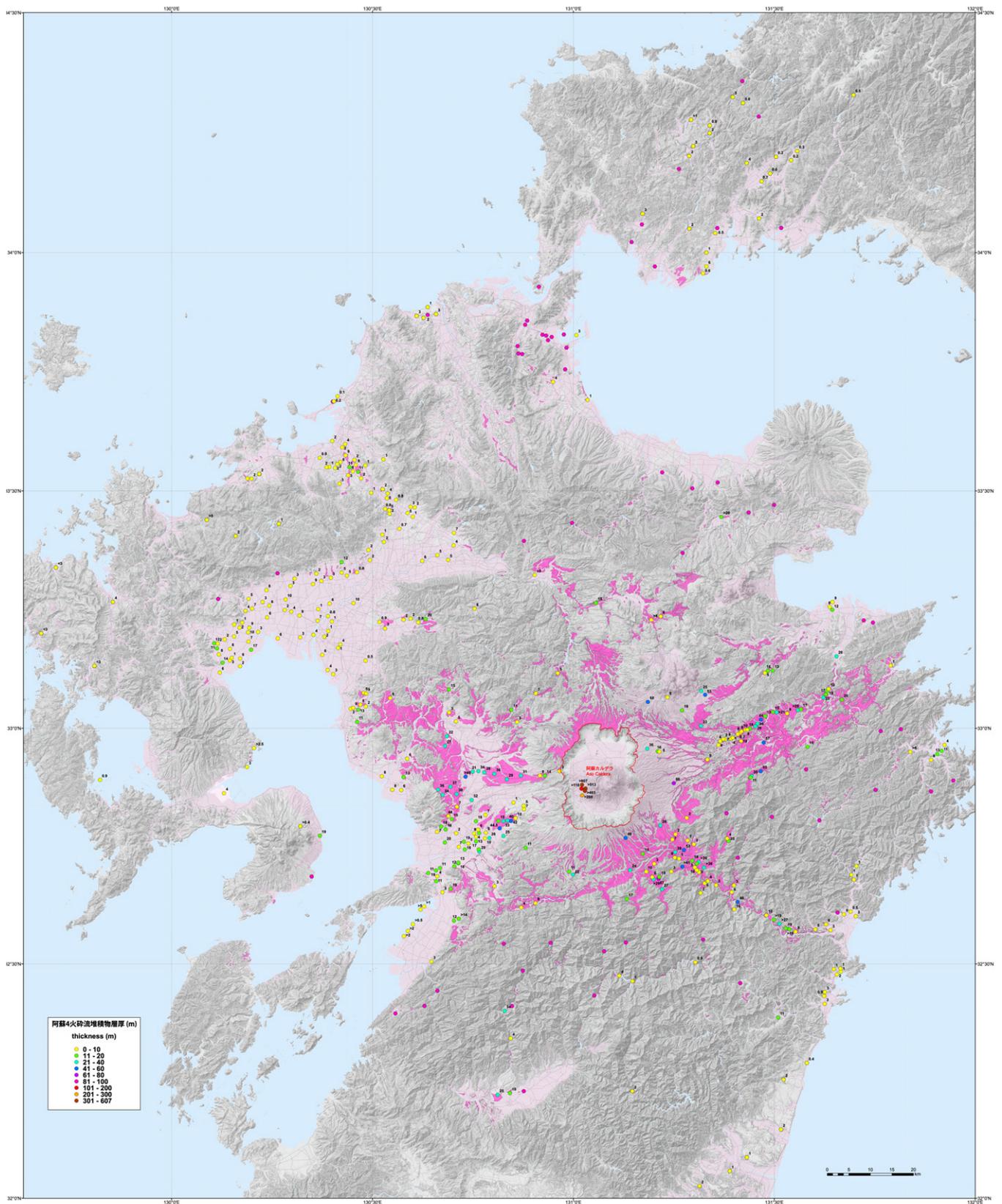
第3図 阿蘇4火砕流堆積物の分布. 網掛け部分は推定伏在域. ピンク色の六角形は小規模分布の位置を示す. 背景地図は, 国土地理院の地理院地図(Vector, 陰影起伏図, 傾斜量図)を使用した. (高解像度 PDFファイル)

Fig. 3 Distribution of Aso-4 Ignimbrite. Pink-colored dotted area indicates concealed distribution of Aso-4 Ignimbrite. Pink-colored hexagonal points indicate relatively small exposures. The GSI Maps (Vector, Shaded Map and Slope Map) published by Geospatial Information Authority of Japan are used. (Link: [High-resolution PDF image](#))



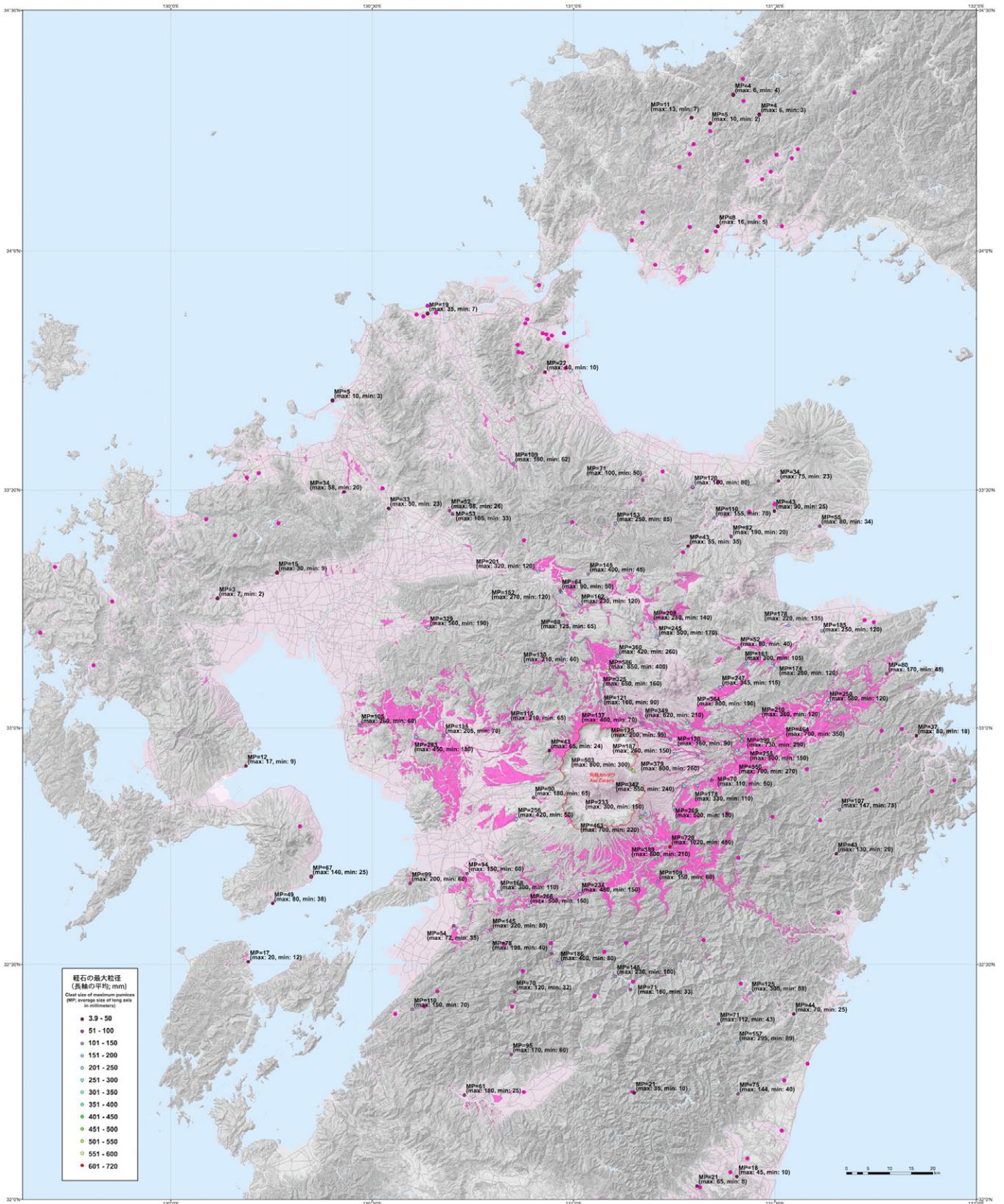
第4図 阿蘇4火砕流堆積物の堆積原面高度分布。数字は堆積原面の標高(単位:m)。火砕流堆積物の分布凡例は第3図と同じ。背景地図は、国土地理院の地理院地図(Vector, 陰影起伏図, 傾斜量図)を使用した。(高解像度 PDFファイル)

Fig. 4 Distribution of the altitude of the original surface of Aso-4 Ignimbrite. The numbers show the altitude from the present sea level in meters. Distribution map of Aso-4 Ignimbrite is same as Fig. 3. The GSI Maps (Vector, Shaded Map and Slope Map) published by Geospatial Information Authority of Japan are used. (Link: [High-resolution PDF image](#))



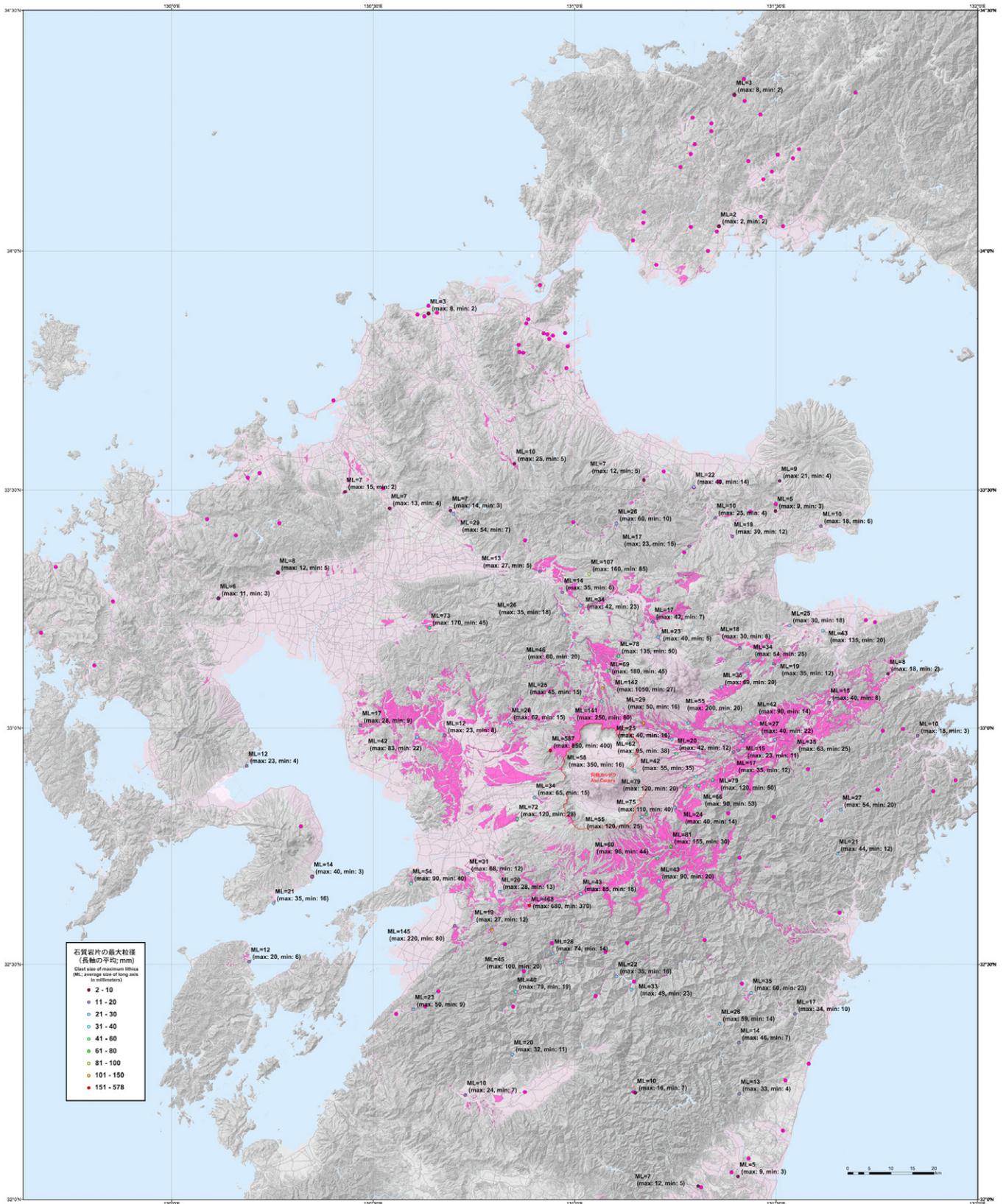
第5図 阿蘇4火砕流堆積物の層厚分布。ポイントの横の数値は、各地点の層厚を示す(単位：m)。火砕流堆積物の分布凡例は第3図と同じ。背景地図は、国土地理院の地理院地図(Vector, 陰影起伏図, 傾斜量図)を使用した。(高解像度 PDFファイル)

Fig. 5 Distribution of the thickness of Aso-4 Ignimbrite. Unit in meter. The pink and red-purple-colored areas are distribution of Aso-4 Ignimbrite. Distribution map of the Aso-4 Ignimbrite is same as Fig. 3. The GSI Maps (Vector, Shaded Map and Slope Map) published by Geospatial Information Authority of Japan are used. (Link: [High-resolution PDF image](#))



第6図 阿蘇4火砕流堆積物に含まれる軽石の最大粒径分布。各露頭に含まれる10～20個の軽石の長径の平均値(MP)及び最大値, 最小値(単位: mm)。火砕流堆積物の分布凡例は第3図と同じ。背景地図は, 国土地理院の地理院地図(Vector, 陰影起伏図, 傾斜量図)を使用した。(高解像度 PDFファイル)

Fig. 6 Distribution of the maximum clast size of pumice (MP) contained in Aso-4 Ignimbrite (in millimeters). MP is the average of long-axis length from 10-20 pumices in an outcrop. Maximum and minimum size of measured pumice clasts are also shown. Distribution map of the Aso-4 Ignimbrite is same as Fig. 3. The GSI Maps (Vector, Shaded Map and Slope Map) published by Geospatial Information Authority of Japan are used. (Link: [High-resolution PDF image](#))



第7図 阿蘇4火砕流堆積物に含まれる石質岩片の最大粒径分布。各露頭に含まれる10～20個の石質岩片の長径の平均値(ML)及び最大値, 最小値(単位: mm)。火砕流堆積物の分布凡例は第3図と同じ。背景地図は, 国土地理院の地理院地図(Vector, 陰影起伏図, 傾斜量図)を使用した。(高解像度 PDFファイル)

Fig. 7 Distribution of the maximum clast size of lithic fragments contained in Aso-4 Ignimbrite (in millimeters). ML is the average of long-axis length from 10-20 lithic fragments in an outcrop. Maximum and minimum size of measured lithic fragments are also shown. Distribution map of the Aso-4 Ignimbrite is same as Fig. 3. The GSI Maps (Vector, Shaded Map and Slope Map) published by Geospatial Information Authority of Japan are used. (Link: [High-resolution PDF image](#))

上の地点では、2～6 mmと小さくなり、測定可能な岩片が含まれていない地点も5地点存在する。

3.5 軽石長軸配列方向分布

阿蘇4火砕流堆積物中に含まれる軽石の長軸配列方向を34地点で計測した。長軸/短軸比がおおよそ2以上の軽石粒子を各露頭で約20個抽出し、その長軸方向(方位及び伏角)を測定した。第8図には、それぞれの地点における軽石粒子の長軸方向をシュミットネット上に下半球投影し、かつその方位頻度分布をローズダイヤグラムで表している。

阿蘇4火砕流堆積物中の軽石の長軸の卓越方向は、概ねカルデラから放射方向を示す傾向が見られる(例えば、地点1, 8, 12, 14, 15, 22, 27)が、各地点の局所的な谷の方向を示す地点が多い(例えば、地点2, 4, 13, 16, 20, 21, 24, 26, 34)。一方で、あまり明確な卓越方向を示さない地点(例えば、7, 9, 18, 17, 19, 29, 32, 33)や、局所的な谷の方向とも斜交する地点も見られる(例えば、5, 25, 31)。

第4章 阿蘇4噴火の噴出量

これまでいくつかの研究により阿蘇4噴火の噴出物の体積が見積もられている。たとえば、町田ほか(1985)、町田・新井(2003)は阿蘇4火砕流堆積物と阿蘇4火山灰の見かけ体積をそれぞれ200 km³以上、400 km³以上と見積もった。山元(2015)は阿蘇4噴火の噴出量を町田・新井(2003)の推定値からDRE(緻密岩石換算)体積で384 km³とした。Takarada and Hoshizumi (2020)は阿蘇4噴火の噴出量の見かけ体積を930～1,860 km³、質量を1.2～2.4×10¹⁵ kgと見積もった。

4.1 阿蘇4火砕流堆積物の分布復元及び噴出量推定

Takarada and Hoshizumi (2020)は、阿蘇4火砕流堆積物の現存分布、合計約3,000点のボーリングコア、露頭、地形データなどによる層厚データに基づき、阿蘇火砕流堆積物の噴火直後の層厚分布を推定した。現在の阿蘇カルデラの地形的カルデラ壁よりも外側の火砕流堆積物については、町田ほか(1985)や町田・新井(2003)の推定による阿蘇4火砕流堆積物分布域を7.0×5.5 kmのグリッドに分割し、グリッド内に含まれる層厚測定地点からそれらの最大値、最小値及び平均値を得た。また復元分布域の外周では、火砕流堆積物の層厚を0とした。層厚測定地点が含まれないグリッドの層厚は、周囲の層厚測定値からクリギング法(空間補間法; Davis, 1986; Yamamoto, 2000)を用いて推定した。各グリッドに与えられた層厚とグリッド面積を乗じて各グリッド内の火砕流堆積物の体積を算出し、すべてのグリッドを合計して火砕流堆積物の見かけ総体積とした。計算には層厚の最大値、最小値及び平均値をそれぞれ用いた。溶結部と非溶結部は個別に体積を算出し、非溶結部(平

均密度1,100 kg/m³)及び溶結部(平均密度2,000 kg/m³)の質量を合計して総質量を算出した。以上から、阿蘇カルデラ外部に堆積した阿蘇4火砕流堆積物の見かけ体積を245～720 km³、質量4.2～11.8×10¹⁴ kgと推測した。カルデラ内部の火砕流堆積物については、カルデラ内部でのボーリングデータにより確認された阿蘇4火砕流堆積物の層厚(NEDO, 1995; 星住ほか, 1997)を、重力異常分布から推測されるカルデラ陥没領域(駒沢, 1995)の面積で乗じ、カルデラ内部に堆積している阿蘇4火砕流堆積物の見かけ体積を90～220 km³、質量1.4～3.0×10¹⁴ kgと推測した。なお、阿蘇カルデラ内部のボーリングはすべて阿蘇4火砕流堆積物の基底に届いていないため、得られた層厚及びそれに基づく体積見積もりは最小値である。カルデラ内外で推測された阿蘇4火砕流堆積物の体積及び質量を合計し、阿蘇4火砕流堆積物の復元体積を見かけ体積340～940 km³(DRE(緻密岩石密度2,500 kg/m³と仮定)体積225～590 km³以上)、質量5.6～14.8×10¹⁴ kg、と見積もった。

4.2 阿蘇4火山灰の分布及び噴出量推定

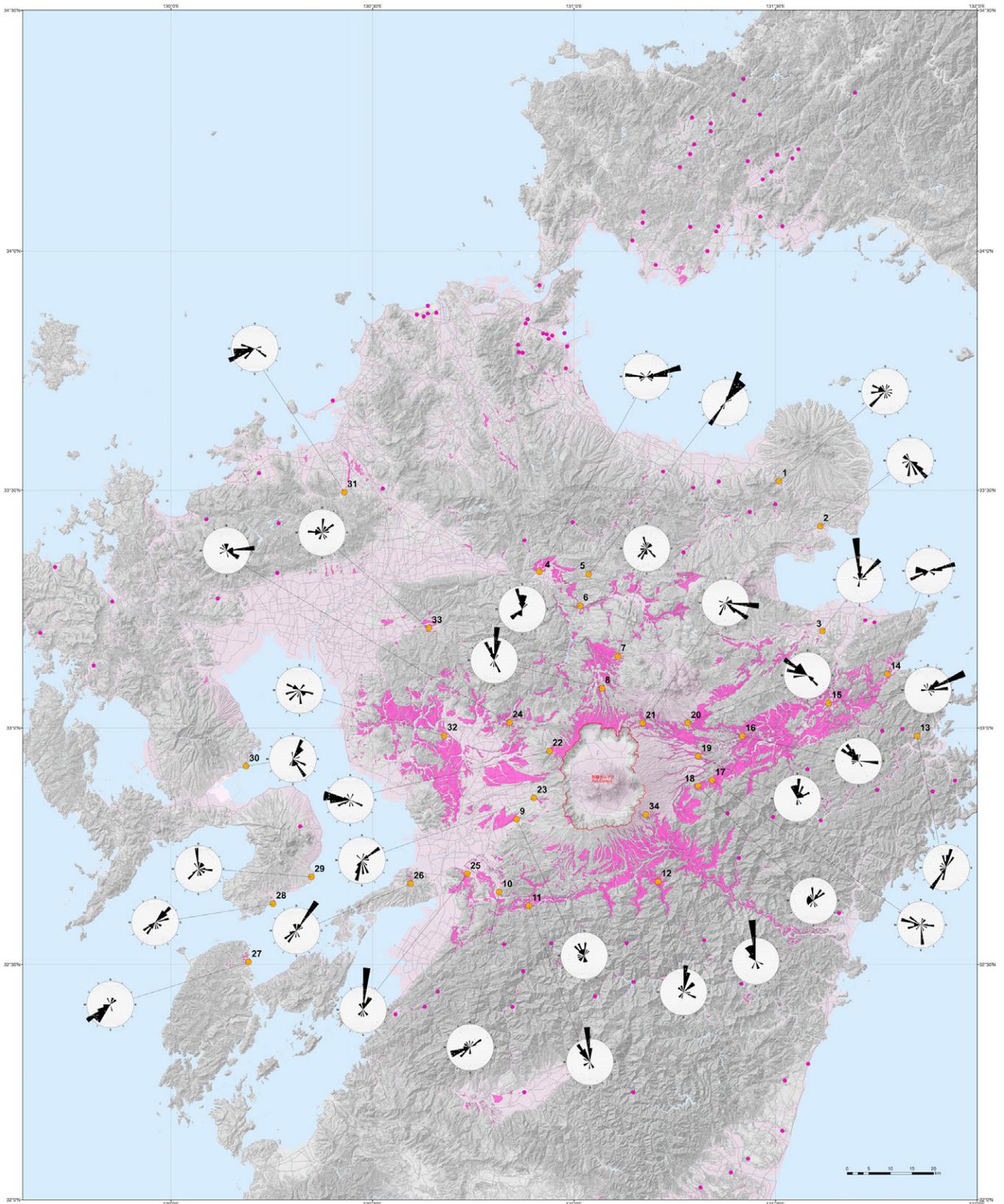
阿蘇4火山灰は、日本列島全域及び周辺の広い範囲で見出されている(第9図)。これらの層厚データを基に、いくつかの研究により阿蘇4火山灰の体積が見積もられている。

町田ほか(1985)は、阿蘇4火山灰のおおよその分布面積を4×10⁶ km²と見積もり、そこに平均層厚を10 cmと仮定して、見かけ体積を400 km³以上と見積もった。これは、阿蘇4火山灰の見かけ密度を1,000 kg/m³、緻密岩石密度を2,500 kg/m³と仮定すると、DRE体積で160 km³に相当する。

須藤ほか(2007)は、町田・新井(1992)の阿蘇4火山灰の等層厚線を補完し、その距離層厚関係を用いて阿蘇4火山灰の見かけ体積を1,051 km³と見積もった。これはDRE体積で420 km³に相当する。

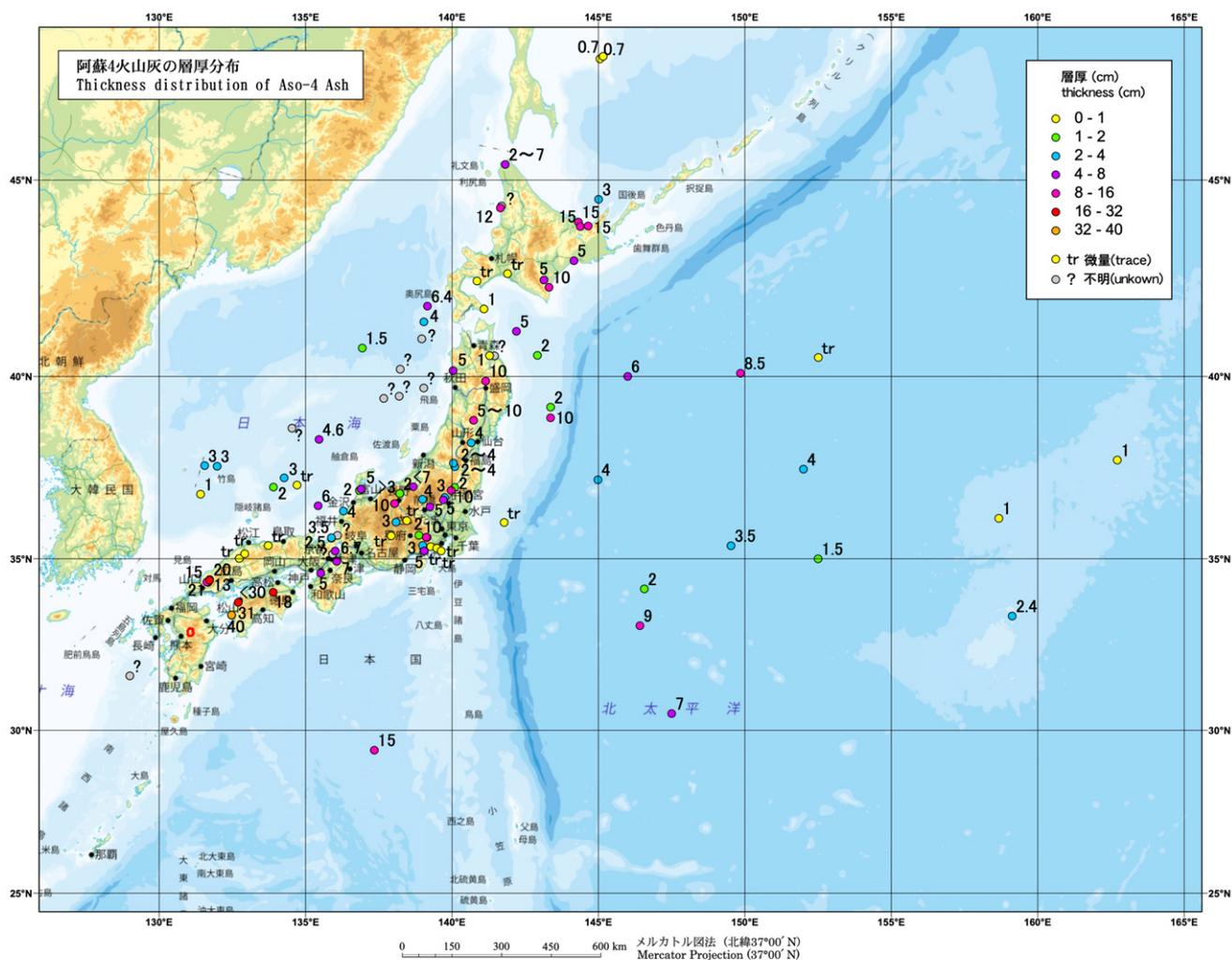
Takarada and Hoshizumi (2020)は、阿蘇4火山灰の陸域と海域の層厚データから等層厚線を作成し、それぞれの等層厚線に囲まれる面積と層厚との関係を指数関数で近似し、宝田ほか(2001)で使用された区分積分法を用いて阿蘇4火山灰の見かけ体積を算出した。現在の阿蘇カルデラの地形的外縁(層厚300 cmと仮定)で囲まれる領域より外側で、10⁸ km²(層厚0.1 mm)の等層厚線で囲まれる領域の内側の領域を3区間に分けて積分し、その合計体積を求めた。その際、北海道東部に知られている阿蘇4火山灰層が厚く堆積する地域を等層厚線に包含した場合、異常値として無視した場合の二通りの等層厚線分布を作成し、それぞれに対して阿蘇4火山灰の見かけ体積として、920 km³及び590 km³を得た。これはDRE換算体積で370 km³及び240 km³に相当する。

Rougier *et al.* (2022)は、阿蘇4火山灰の地点層厚データから機械学習と統計処理により層厚分布を作成し、阿蘇4火山灰の見かけ体積の95%の信頼区間として220～370 km³と見積もった。これは、DRE換算で88～149 km³に相当する。



第8図 阿蘇4火砕流堆積物中の軽石の長軸分布. 各地点での軽石の長軸配列方向(ローズダイヤグラム)を示す. 火砕流堆積物の分布凡例は第3図と同じ. 背景地図は, 国土地理院の地理院地図(Vector, 陰影起伏図, 傾斜量図)を使用した.
[\(高解像度 PDFファイル\)](#)

Fig. 8 Distributions of the direction of the major axis of the pumice clasts in Aso-4 Ignimbrite. Preferred orientations of elongated pumices are shown on the rose diagrams. Distribution map of the Aso-4 Ignimbrite is same as Fig. 3. The GSI Maps (Vector, Shaded Map and Slope Map) published by Geospatial Information Authority of Japan are used.
 (Link: [High-resolution PDF image](#))



第9図 阿蘇4火山灰の層厚分布. 各地点の数値は層厚 (cm). tr: 微量で層厚が認定できない地点, ?: 層厚の記載がない地点を示す参照した文献のリストは付録3. 背景地図は国土地理院の地理院地図 (標準) を使用した. ([高解像度 PDFファイル](#))

Fig. 9 Thickness distribution of Aso-4 Ash (numbers beside the points). tr: trace amount. ?: thickness unknown. The reference literatures are listed in Appendix 3. The base map is the GIS Map (Standard) published by Geospatial Information Authority of Japan. (Link: [High-resolution PDF image](#))

謝辞・協力・出典

元熊本大学の渡辺一徳氏(故人)には、阿蘇カルデラ西部の阿蘇4火砕流堆積物の露頭情報を教えていただくとともに議論していただいた。元山口大学の松尾征二氏(故人)には、山口県内の阿蘇4火砕流堆積物を案内していただき、露頭情報を教えていただいた。大阪公立大学の奥野 充氏には阿蘇4火砕流堆積物の露頭情報を、茨城大学の長谷川 健氏には阿蘇4火山灰の露頭情報を教えていただいた。以上の方々に深く感謝いたします。

地質情報研究部門の水野清秀氏及び活断層・火山研究部門の山元孝広氏には、阿蘇4火山灰の露頭情報、層厚情報や文献情報を教えていただいた。

-50mの海水準高度の作成に当たっては、日本水路協会発行の海底地形デジタルデータ M7003 四国南岸域-豊後水道, M7008 薩南, M7014 対馬海峡, M7024 九州西岸海域を、一部加工の上使用した。本研究の一部は、原子力規制庁の受託研究(巨大噴火プロセス等の知見整備に係る研究)として行われた。

引用文献

- Albert, P.G., Smith, V.C., Suzuki, T., McLean, D., Tomlinson, E.L., Miyabuchi, Y., Kitaba, I., Mark, D.F., Moriwaki, H., SG06 Project Members and Nakagawa, T. (2019) Geochemical characterisation of the Late Quaternary widespread Japanese tephrostratigraphic markers and correlations to the Lake Suigetsu sedimentary archive (SG06 core), *Quaternary Geochronology*, **52**, 103–131.
- 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・町田 洋(2006)日本に分布する第四紀後期広域テフラの主元素組成-K₂O-TiO₂図によるテフラの識別. 地質調査研究報告, **57**, 239–258.
- Cutler, K. B., Edwards, R. L., Taylor, F. W., Cheng, H., Adkins, J., Gallup, C. D., Cutler, P. M., Burr, G.S. and Bloom, A. L. (2003) Rapid sea-level fall and deep-ocean temperature change since the last interglacial period. *Earth and Planetary Science Letters*, **206**, 253–271.
- Davis, J. C. (1986) *Statistics and Data Analysis in Geology*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York, 646p.
- 遠藤邦彦(2015)日本の沖積層-未来と過去を結ぶ最新の地層-. 富山房インターナショナル, 415p.
- 藤井純子・中島正志・石田志朗・松尾征二(2000)山口県に分布する阿蘇4テフラの古地磁気方位. 第四紀研究, **39**, 227–232.
- Fujii, J., Nakajima, M. and Kamata, H. (2001) Paleomagnetic directions of the Aso pyroclastic-flow and the Aso-4 co-ignimbrite ash-fall deposits in Japan. *Earth, Planets and Space*, **53**, 1137–1150.
- 古田俊夫・森脇 広・町田 洋(1983)火山ガラスの主成分組成に基づく広域テフラの同定. 日本列島周辺の深海底堆積物の分析を中心とした第四紀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, 35–38.
- 郷原保真・新堀友行・鈴木康司・野村 哲・小森長生(1964)北九州の第四紀層に関する諸問題. 資源科学研究所彙報, no.62, 83–108.
- 東 麻里子・木村寿志・鶴殿暁子(2014)熊本県八代平野の地質特性. 日本応用地質学会平成26年度研究発表会講演論文集, 75–76.
- 星住英夫・鎌田浩毅(1991)由布川火砕流の噴出年代. 火山, **36**, 393–401.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎(1988)別府地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 131p.
- 星住英夫・渡辺一徳・阪口圭一・宇都浩三・小野晃司・中村 武(1997)阿蘇カルデラ内の深部ボーリングコアで確認された阿蘇-4火砕流堆積物. 日本火山学会講演予稿集, 1997, no.2, 5.
- 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.
- 星住英夫・宮縁育夫・宮城磯治・下司信夫・宝田晋治(2022)阿蘇火山, 阿蘇4/3降下テフラ群の層序と噴火活動史-阿蘇4火砕流噴火への準備過程-. 火山, **67**, 91–112.
- 池辺伸一郎・渡辺一徳・宮縁育夫(2008)阿蘇火山中岳1988～1995年活動期における噴火様式の変化. 火山, **53**, 15–33.
- 今井 功・寺岡易司・奥村公男・神戸信和・小野晃司(1982)諸塚山地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 71p.
- 石坂信也・渡辺一徳・高田英樹(1992)熊本平野地下における第四系の最近15万年間の沈降速度. 第四紀研究, **31**, 91–99.
- Kamata, H. (1989) Shishimuta caldera, the buried source of the Yabakei pyroclastic flow in the Hohi volcanic zone, Japan. *Bulletin of Volcanology*, **51**, 42–50.
- 鎌田浩毅(1997)宮原地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 127p.
- 鎌田浩毅・檀原 徹・林田 明・星住英夫・山下 透(1994)中部九州の今市火砕流堆積物と類似火砕流堆積物の対比および噴出源の推定. 地質学雑誌, **100**, 279–91.
- 鎌田浩毅・檀原 徹・伊藤順一・星住英夫・川辺禎久(1998)九重火山起源の宮城・下坂田・飯田火砕流堆積物のジルコンのフィッシュン・トラック年代. 火山, **43**, 69–73.
- 木村克己・康 義英・花島裕樹(2013)福岡平野の警固断層と第四系の地下地質構造. 海陸シームレス地質情報集「福岡沿岸域」, 数値地質図S-3, 地質調査総合センター, 52p.
- 気象庁(2013)日本活火山総覧(第4版). 気象庁, 1498p.

- 駒澤正夫(1995)阿蘇火山の重力解析と解釈. 測地学会誌, **41**, 17-45.
- 町田 洋・新井房夫(2003)新編火山灰アトラスー日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 336p.
- 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, 第2集, **30**, 49-70.
- 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年代測定一火山層序との整合性と火砕流試料への適応一. 日本火山学会講演予稿集, 1991, no.2, 73.
- 松本徂夫(1979)九州における火山活動と陥没問題に関する諸問題. 地質学論集, no.16, 127-139.
- Miyabuchi, Y. (2009) A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan. *Sedimentary Geology*, **220**, 169-189.
- Miyabuchi, Y. (2011) Post-caldera explosive activity inferred from improved 67-30 ka tephrostratigraphy at Aso Volcano, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **205**, 94-113.
- 宮縁育夫・星住英夫・高田英樹・渡辺一徳・徐 勝(2003)阿蘇火山における過去約9万年間の降下軽石堆積物. 火山, **48**, 195-214.
- 宮縁育夫・星住英夫・渡辺一徳(2004)阿蘇火山における更新世末期, AT火山灰以降のテフラ層序. 火山, **49**, 51-64.
- Miyabuchi, Y., Iizuka, Y., Hara, C., Yokoo, A. and Ohkura, T. (2018) The September 14, 2015 phreatomagmatic eruption of Nakadake first crater, Aso Volcano, Japan: Eruption sequence inferred from ballistic, pyroclastic density current and fallout deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **351**, 41-56.
- Miyagi, I., Hoshizumi, H., Suda, T., Saito, G., Miyabuchi, Y. and Geshi, N. (2023) Importance of long-term shallow degassing of basaltic magma on the genesis of massive felsic magma reservoirs: A case study of Aso caldera, Kyushu, Japan. *Journal of Petrology*, **63**, egad009.
- 長橋良隆・吉川周作・宮川ちひろ・内山 高・井内美郎(2004)近畿地方および八ヶ岳山麓における過去43万年間の広域テフラの層序と編年. 第四紀研究, **43**, 15-35.
- 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.
- 長岡信治・奥野 充(2015)九州中部, 九重火山群の噴火史. 地形, **36**, 141-158.
- 中島正志・藤井純子(1998)阿蘇4火山灰および阿蘇火砕流堆積物の古地磁気方位. 第四紀研究, **37**, 371-383.
- 中澤 努・坂田健太郎・佐藤善輝・星住英夫・卜部厚志・吉見雅行(2018)2016年熊本地震で甚大な被害を受けた益城町市街地の地下を構成する火山性堆積物の層序と分布形態. 地質学雑誌, **124**, 347-359.
- NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) (1995)阿蘇山西部地域. 地熱開発促進調査報告書, no. 38, 1508p.
- 奥村晃史(1985)北海道地方の第四紀テフラ研究. 第四紀研究, **30**, 379-390.
- 小野晃司(1965)阿蘇カルデラ東部の地質. 地質学雑誌, **71**, 541-553.
- 小野晃司・渡辺一徳(1974) Aso-2火砕流堆積物の二次流動. 火山, 第2集, **19**, 93-110.
- 小野晃司・渡辺一徳(1983)阿蘇カルデラ. 月刊地球, **5**, 73-82.
- 小野晃司・渡辺一徳(1985)阿蘇火山地質図. 火山地質図, **4**, 地質調査所.
- 小野晃司・松本徂夫・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図幅), 地質調査所, 145p.
- 小野晃司・渡辺一徳・星住英夫・高田英樹・池田伸一郎(1995)阿蘇火山中岳の灰噴火とその噴出物. 火山, **40**, 133-151.
- Ono, K., Watanabe, K., Hoshizumi, H. and Ikebe, S. (1995) Ash eruption of the Naka-dake crater, Aso volcano, southwestern Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **66**, 137-148.
- Rougier, J.C., Sparks, R. S. J., Aspinall, W.P., Mahony, S. H. (2022) Estimating tephra fall volume from point-referenced thickness measurements. *Geophysical Journal International*, **230**, 1699-1710.
- 酒井 彰・寺岡易司・宮崎一博・星住英夫・坂巻幸雄(1993)三重町地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 115p.
- 産総研地質調査総合センター (2021) 20万分の1日本火山図 Ver. 1.0d. <https://gbank.gsj.jp/volcano/vmap/index.html> (閲覧日: 2022年11月15日).
- 産総研地質調査総合センター (2022) 20万分の1日本シームレス地質図V2 (地質図更新日: 2022年3月11日). <https://gbank.gsj.jp/seamless/> (閲覧日: 2022年11月15日)
- 笹田正克(1987)豊肥地域の先新第三紀基盤岩. 地質調査所月報, **38**, 385-422.
- 下山正一・磯 望・野井英明・高塚 潔・小林 茂・佐伯弘次(1991)福岡市鳥飼低地の海成第四系と更新世後期以降の地形形成過程. 九州大学理学部研究報告, 地球惑星, **17**, 1-23.
- 下山正一・松本直久・湯村弘志・竹村恵二・岩尾雄四郎・三浦哲彦・陶野郁雄(1994)有明海北岸低地の第四系. 九州大学理学部研究報告, 地球惑星, **18**, 103-129.
- 首藤次男・日高 稔(1971)大分地方の沖積層, とくに別府湾の起源について. 九州大学理学部研究報告, 地質学, **11**, 87-104.
- 須藤 茂・猪股隆行・佐々木 寿・向山 栄(2007)わが国の降下火山灰データベース作成. 地質調査研究報告, **58**, 261-321.

- Suzuki-Kamata, K. and Kamata, H. (1990) The proximal facies of the Tosu pyroclastic-flow deposit erupted from Aso caldera, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **52**, 325–333.
- 高木秀雄・石井 徹・戸邊恵里・曾田祐介・鈴木和博・岩野英樹・檀原 徹(2007) Aso-4火砕流堆積物中の花崗岩マイロナイト異質礫の岩石学と放射年代および荷尾杵花崗岩との対比. *地質学雑誌*, **113**, 1–14.
- 田島靖久・星住英夫・松本哲一・廣田明成・小屋口剛博(2017) 阿蘇火山, Aso-1火砕流堆積物に関する新知見とAso-1噴火に先駆けて噴出した古閑溶岩. *火山*, **62**, 177–188.
- Takarada, S. and Hoshizumi, H. (2020) Distribution and eruptive volume of Aso-4 pyroclastic density current and tephra fall deposits, Japan: a M8 super-eruption. *Frontiers in Earth Science*, **8**:170.
- 宝田晋治・吉本充宏・北川淳一・平賀正人・山元孝広・川辺禎久・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・八幡正弘・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.
- 寺岡易司・宮崎一博・星住英夫・吉岡敏和・酒井 彰・小野晃司(1992) 犬飼地域の地質. *地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)*, 地質調査所, 129p.
- Watanabe, K. (1978) Studies on the Aso pyroclastic flow deposits in the region to the west of Aso caldera, southwest Japan, I: Geology. *Memoirs of the Faculty of Education, Kumamoto University, Natural Science*, no.27, 97–120.
- Watanabe, K. (1979) Studies on the Aso pyroclastic flow deposits in the region to the west of Aso caldera, southwest Japan, II: Petrology of the Aso-4 pyroclastic flow deposits. *Memoirs of the Faculty of Education, Kumamoto University, Natural Science*, no.28, 75–112.
- Watanabe, K. (1984) An example of “low-aspect ratio ignimbrite”, Aso caldera, Japan. *A Progress Report of the U.S.-Japan Cooperative Science Program*, 18–20.
- 渡辺一徳(1986) 阿蘇カルデラ起源, 鳥栖オレンジ軽石流の流動・堆積機構. 文部省科学研究費自然災害特別研究, 計画研究「火山噴火に伴う乾燥粉体流(火砕流等)の特質と災害」報告書, 115–128.
- 渡辺一徳・池辺伸一郎(1996) 阿蘇火山中岳の水蒸気爆発. 文部省科学研究費補助金, 「蒸気爆発の力学」研究成果報告書, 107–112.
- 渡辺一徳・小野晃司(1969) 阿蘇カルデラ西側, 大峰付近の地質. *地質学雑誌*, **75**, 365–374.
- 渡辺一徳・本田圭一・原 浩太郎・宮縁育夫(2021) 阿蘇カルデラ西端, 立野峡谷の地質と形成年代. *火山*, **66**, 21–34.
- Yamamoto, J. K. (2000) An alternative measure of the reliability of ordinary kriging estimates. *Mathematical Geology*, **32**, 489–509.
- 山元孝広(2015) 日本の主要第四紀火山の積算マグマ噴出量階段図. *地質調査総合センター研究資料集*, no.613, 産総研地質調査総合センター.
- 吉岡敏和・星住英夫・宮崎一博(1997) 大分地域の地質. *地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)*, 地質調査所, 65p.

EXPLANATORY TEXT
OF
DISTRIBUTION MAP OF ASO-4 IGNIMBRITE AND
ASSOCIATED DEPOSITS, ASO CALDERA, JAPAN

1:250,000

HOSHIZUMI Hideo^{*}, TAKARADA Shinji^{*}, MIYABUCHI Yasuo^{**}, MIYAGI Isoji^{*},
YAMASAKI Tadashi^{*}, KANEDA Yasuaki^{***} and GESHI Nobuo^{*}

Abstract

The distribution of Aso-4 Ignimbrite that erupted from Aso Caldera about 90,000 years ago was compiled based on the latest research results. This report shows the present distribution of Aso-4 Ignimbrite together with the distributions of the altitude of the original depositional surface of the ignimbrite, the thickness of the ignimbrite deposit, the maximum diameters of pumice and lithic fragments, and the alignment of the pumice clasts in the ignimbrite deposit. The present Aso-4 Ignimbrite covers wide area in the northern-central part of Kyushu Island. Distribution of the ignimbrite can be traced up to ~170 km NE from the center of the caldera. The total volume of the erupted magma during the eruption is estimated as 465–960 km³ in dense rock equivalent (DRE), including 225–590 km³ DRE of Aso-4 Ignimbrite, and 240–370 km³ DRE of Aso-4 Ash. This value corresponds to VEI 8.

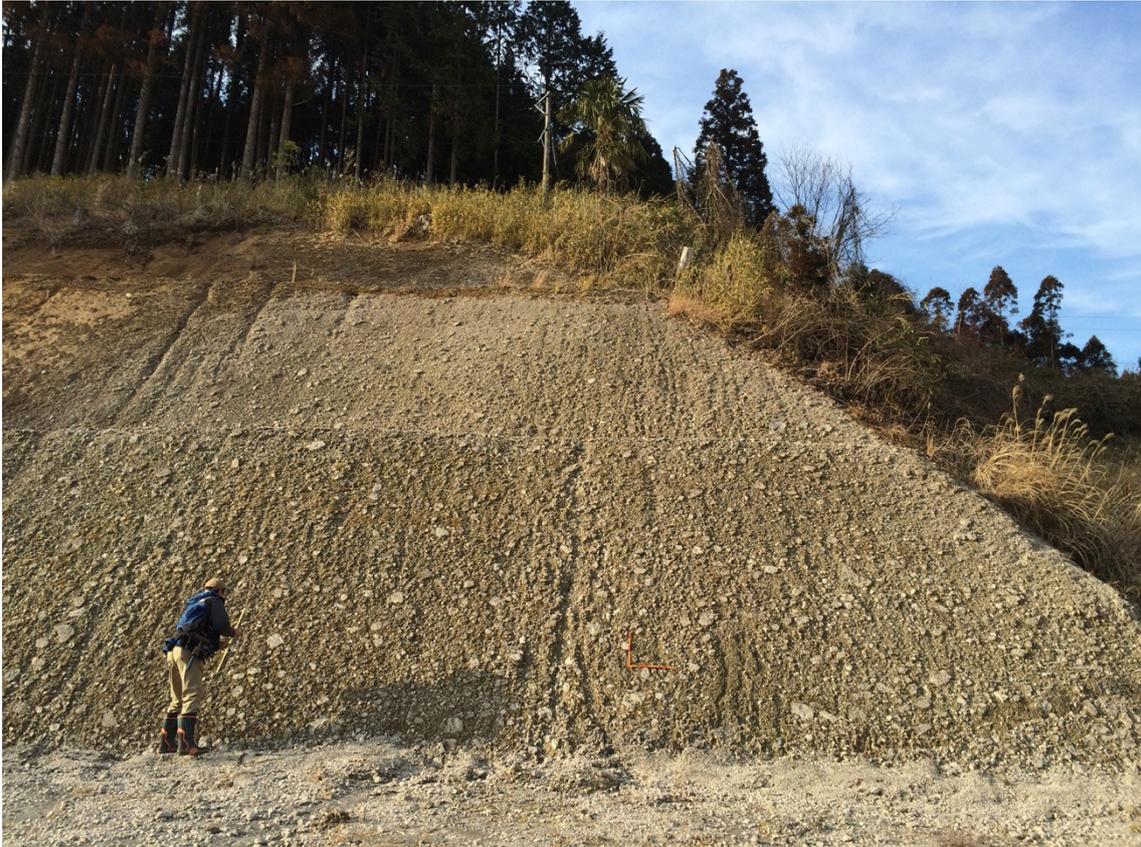
^{*}Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, Geological Survey of Japan, AIST

^{**}Kumamoto University

^{***}Ibaraki University

付図：阿蘇4火砕流堆積物及び関連する堆積物の代表的な露頭写真

Appendix: Photographs of representative outcrops of Aso-4 Ignimbrite and associated deposits



付図1 阿蘇4A火砕流堆積物の非溶結部.

Fig. A1 Non-welded part of Aso-4A.

熊本県阿蘇郡小国町菅迫^{すげさこ}(33° 9' 4"N, 131° 6' 30"E)

灰白色軽石を含む阿蘇4A火砕流堆積物の非溶結部. 2016年撮影.

Non-welded pumice flow deposit of Aso-4A containing pale-gray colored pumice blocks. Photo taken in 2016.



付図2 阿蘇4A火砕流堆積物の非溶結部。
Fig. A2 Non-welded part of Aso-4A.

宮崎県西臼杵郡五ヶ瀬町黒板^{くろいた}(32°43'26"N, 131°12'19"E)

阿蘇4A火砕流堆積物の非溶結部。灰白色軽石を含む。スケールの長さは1 m。2022年撮影。
Non-welded pumice flow deposit of Aso-4A containing pale-gray colored pumice blocks. A 1-m scale is on the outcrop. Photo taken in 2022.



付図3 基盤岩を覆う阿蘇4A火砕流堆積物.
Fig. A3 Basement rocks and overlying welded Aso-4A.

熊本県下益城郡美里町中(32°36'18"N, 130°48'42"E)

基盤岩(右下; 白亜紀の肥後深成岩類)を強溶結の阿蘇4火砕流堆積物(左上)が覆う。接触部10～20 cm程度は非溶結～弱溶結となっている。2022年撮影。

The welded part of Aso-4A on the basement rock (Cretaceous Higo Plutonic rocks). The basal part of Aso-4A ~10-20 cm from the contact is non-welded – moderately welded. Photo taken in 2022.



付図4 阿蘇4A火砕流堆積物の非溶結部とその直下の岩片濃集層.
Fig. A1 Basal breccia and overlying non-welded part of Aso-4A.

熊本県上益城郡山都町猿丸 (32°48'41"N, 131°10'12"E)

厚さ5 m以上の岩片濃集層を非溶結の火砕流堆積物が覆う。2018年撮影。
Lithic concentrated unit of Aso-4A more than 5 m thick is exposed at the base of the outcrop. Upper part of the outcrop consists of the non-welded pumice flow deposit of Aso-4A. Photo taken in 2018.



付図5 阿蘇4/3 テフラとそれを覆う阿蘇4A 火砕流堆積物の非溶結部。
Fig. A1 Aso-4/3 Tephra and overlying non-welded Aso-4A Ignimbrite.

大分県竹田市大畑 (32°57'44"N, 131°20'37"E)

阿蘇4/3 間テフラ (ABCD) を覆う阿蘇4A 火砕流堆積物の非溶結部。阿蘇4 火砕流堆積物の基底部に岩片濃集層が認められる。スケールの長さは1 m。2019年撮影。

The basal non-welded part of Aso-4A covering the Aso-4/3 tephra (ABCD). A lithic-concentrated layer develops at the base of Aso-4A. Scale is 1m. Photo taken in 2019.



付図6 阿蘇4A火砕流堆積物の強溶結部。
Fig. A6 Densely-welded Aso-4A Ignimbrite.

大分県豊後大野市清川町木南切(32°54'52"N, 131°28'50"E)

柱状節理が発達する阿蘇4A火砕流堆積物。崖の下部と上部にはほぼ垂直方向に伸びる柱状節理が発達する。崖の中央部に様々な方向を向いた細かい節理が密集するエンタブラチャー部が観察できる。崖の高さはおよそ30 m。2013年撮影。

Welded tuff of Aso-4A, with columnar joints. Vertical columnar jointing is recognized in the lower and upper part of the outcrop. The central part of the outcrop corresponds "entablature" developing irregularly orientated joints. The total height of the outcrop is ~30 m. Photo taken in 2013.



付図7 阿蘇4A火砕流堆積物の強溶結部と阿蘇3B火砕流堆積物。
Fig. A7 Dense-welded ignimbrites of Aso-4A and Aso-3B.

大分県竹田市笹無田 (32°58'52"N, 131°24'39"E)

垂直に近い阿蘇3B火砕流堆積物に阿蘇4A火砕流堆積物の強溶結部がアバットする (上図)。阿蘇4A火砕流堆積物は長さ1 m近い黒曜石レンズを含む (下図)。2006年撮影。露頭は現存しない。

Welded part of Aso-4A abuts the nearly vertical surface of the welded part of the Aso-3 Ignimbrite (upper photo). Aso-4A contains obsidian lens maximum 1m across (lower photo). Photo taken in 2006. This outcrop has been covered.



付図8 阿蘇4A火砕流堆積物の岩片濃集層とそれを覆う強溶結の阿蘇4B火砕流堆積物。

Fig. A8 Basal breccia (Aso-4A) and overlying densely welded Aso-4B.

熊本県阿蘇市箱石峠西方(32°54'38"N, 131° 8'54"E)

阿蘇4A火砕流堆積物の岩片濃集層を強溶結の阿蘇4B火砕流堆積物が覆う(上図)。阿蘇4B火砕流堆積物は暗灰色基質中に灰白色の溶結レンズを含む(下図)。2017年撮影。

Upper: Welded tuff of Aso-4B covering the lithic-concentrated basal unit of Aso-4A. Lower: Pale-gray colored welded lens in the dark-gray colored matrix of the welded tuff of Aso-4B. Photo taken in 2017.



付図9 阿蘇4T火砕流堆積物の近傍相の産状。
Fig. A9 Proximal facies of Aso-4T.

熊本県阿蘇市狩尾牧野(32°57'48"N, 130° 59'59"E)

この地点での阿蘇4T火砕流堆積物は弱い成層構造が見られる(4T)。下部には異質角礫に富む岩片濃集層を伴っている(4T-brec)。2013年撮影。

The Aso-4T pyroclastic flow deposit at this site is weakly stratified (4T). The lower part of the Aso-4T is accompanied by a lithic-rich layer (4T-brec). Photo taken in 2013.



付図10 阿蘇4火山灰の遠方相の産状.
Fig. A10 Distal facies of Aso-4 Ash.

北海道斜里郡斜里町川上 (43°51'9"N, 144° 38'39"E)

阿蘇4火山灰(中央部白色～淡褐色の層)は細粒のガラス火山灰から構成される。層厚約15 cm. 2019年撮影。

An Aso-4 ash layer (white to pale-pink layer) with ~15 cm thick consisting of fine-grained vitric ash. Photo taken in 2019.

付 録

付録1 阿蘇4火砕流堆積物の分布を参照した文献

- 足立富男(2004) 5万分の1表層地質図「熊田」及び同説明書. 東臼杵・西臼杵地域土地分類基本調査, 宮崎県農政水産部農村建設課, 23-37.
- 足立富男・遠藤 尚・金子弘二(1987) 5万分の1表層地質図「日向」及び同説明書. 東臼杵・日向地域土地分類基本調査, 宮崎県農政水産部農業振興課, 10-18.
- 有明海研究グループ(1965) 有明・不知火海域の第四系—とくに有明軟弱粘土について—. 地団研専報, no.11, 86p.
- 麻生弘幸・渡辺一徳(1985) 小国町北西部に分布する火砕流起源のいわゆる万年山溶岩について. 熊本地学会誌, no.79, 6-10.
- 遠藤秀典・鈴木祐一郎(1986) 妻及び高鍋地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 105p.
- 古川博恭・満塩博美(1965) 熊本県長洲町付近の第四系. 九州大学理学部研究報告. 地質学, 8, 83-100.
- 原 英俊・木村克己・内藤一樹(2009) 村所地域の地質. 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, 56p.
- 長谷義隆・岩内明子(1985) 中・北部九州後期新生代の植生と古環境—その1 阿蘇野地域—. 地質学雑誌, 91, 753-770.
- 長谷義隆・池田和則(2009) 熊本県天草下島佐伊津層産の植物化石. 御所浦白亜紀資料館報, no.10, 1-6.
- 星住英夫・森下祐一(1993) 豊岡地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 75p.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎(1988) 別府地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 131p.
- 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・駒沢正夫・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.
- 今井 功・寺岡易司・奥村公男・小野晃司(1979) 神門地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 44p.
- 今井 功・寺岡易司・奥村公男・神戸信和・小野晃司(1982) 諸塚山地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 71p.
- 今西 茂・岩尾雄四郎(1973) 5万分の1表層地質図「高瀬」及び同説明書. 玉名・有明地域土地分類基本調査, 熊本県, 15-19.
- 今西 茂・田村 実(1958) 5万分の1表層地質図「熊本」及び同説明書. 土地分類基本調査, 経済企画庁・熊本県, 44p.
- 石井邦宙・下山正一・松田時彦(1994) 行橋平野の最終間氷期と完新世の旧汀線高度. 九州大学理学部研究報告(地球惑星), 18, 157-174.
- 石塚吉浩・水野清秀・松浦浩久・星住英夫(2005) 豊後杵築地域の地質. 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, 83p.
- 石塚吉浩・尾崎正紀・星住英夫・松浦浩久・宮崎一博・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.
- 岩内明子・長谷義隆(1989) 中・北部九州後期新生代の植生と古環境—その4 大山・杖立地域(下部更新統)—. 地質学雑誌, 95, 63-75.
- 鎌田浩毅(1997) 宮原地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 127p.
- 神戸信和(1967) 5万分の1地質図幅「鞍岡」及び同説明書. 地質調査所, 51p.
- 神戸信和・寺岡易司(1968) 5万分の1地質図幅「臼杵」及び同説明書. 地質調査所, 63p.
- 勘米良亀齢・小川勇二郎・田中豊俊・鹿田昭夫・千足恭平・沢村昌俊(1980) 5万分の1表層地質図「甘木」及び同説明書. 福岡県福岡広域生活圏佐賀県東部開発地域土地分類基本調査, 福岡県農政部農地計画課, 28-35.
- 唐木田芳文・富田宰臣・下山正一・千々和一豊(1994) 福岡地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 192p.
- 川辺禎久・星住英夫・伊藤順一・山崎誠子(2015) 九重火山地質図. 火山地質図, no.19, 産総研地質調査総合センター.
- 木村克己・巖谷敏光・三村弘二・佐藤喜男・佐藤岱生・鈴木祐一郎・坂巻幸雄(1991) 尾鈴山地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 137p.
- 松本達郎・勘米良亀齢(1964) 5万分の1地質図幅「日奈久」及び同説明書. 地質調査所, 147p.
- 松尾征二(2001) 山口県内に分布する更新世後期~完新世広域火山灰(その1)—阿蘇4火砕流堆積物(Aso-4火砕流)1—. 山口地学会誌, no.47, 1-12.
- 満塩博美(1971) 北九州および山口県における八女粘土層(=阿蘇新期溶結凝灰岩)(演旨). 日本地質学会関西支部報, no.71, 西日本支部報, no.54, 合併号, 11.
- 満塩博美(1972) 北九州市小倉区の第四系(演旨). 日本地質学会関西支部報, no.73, 西日本支部報, no.54, 合併号, 11.
- 満塩博美・畑中健一(1973) 平尾台上の八女粘土層—新期阿蘇溶結凝灰岩—. 北九州市文化財調査報告書, 13, 57-66.
- 野沢 保・木野義人(1956) 5万分の1地質図幅「富高」及び同説明書. 地質調査所, 22p.
- 奥村公男・寺岡易司・杉山雄一(1985) 蒲江地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 58p.
- 奥村公男・酒井 彰・高橋正樹・宮崎一博・星住英夫(1998) 熊田地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 100p.
- 奥村公男・寺岡易司・今井 功・星住英夫・小野晃司・宍

- 戸 章(2010)延岡地域の地質. 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, 50p.
- 小野晃司(1963)5万分の1地質図幅「久住」及び同説明書. 地質調査所, 124p.
- 小野晃司・渡辺一徳(1985)阿蘇火山地質図. 火山地質図, no.4, 地質調査所.
- 小野晃司・松本徂夫・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図幅), 地質調査所, 145p.
- 大島恒彦(1979)5万分の1表層地質図「浜崎」及び同説明書. 佐賀県山間開発地域土地分類基本調査, 佐賀県企画室, 27-29.
- 尾崎正紀・浜崎聡志・吉井守正(1993)折尾地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 121p.
- 斎藤 眞・宮崎一博・利光誠一・星住英夫(2005)砥用地域の地質. 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, 218p.
- 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.
- 斎藤正次・神戸信和・片田正人(1958)5万分の1地質図幅「三田井」及び同説明書. 地質調査所, 77p.
- 酒井 彰・寺岡易司・宮崎一博・星住英夫・坂巻幸雄(1993)三重町地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 115p.
- 産総研地質調査総合センター (2021)20万分の1日本火山図 Ver.1.0d. <https://gbank.gsj.jp/volcano/vmap/index.html> (閲覧日:2022年11月15日)
- 産総研地質調査総合センター (2022)20万分の1日本シームレス地質図V2 (地質図更新日:2022年3月11日). <https://gbank.gsj.jp/seamless/> (閲覧日:2022年11月15日)
- 下山正一・松浦浩久・日野剛徳(2010)佐賀地域の地質. 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, 97p.
- 田村 実・渡辺一徳(1981)5万分の1表層地質図「頭地」及び同説明書. 人吉・球磨地域土地分類基本調査, 熊本県土地利用対策課, 17-21.
- 田村 実・渡辺一徳(1982)5万分の1表層地質図「菊池」及び同説明書. 菊池・大津地域土地分類基本調査, 熊本県土地利用対策課, 22-27.
- 田村 実・渡辺一徳・堀川治城(1983)5万分の1表層地質図「人吉」及び同説明書. 人吉・球磨地域土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地・地域政策課, 26-32.
- 田村 実・渡辺一徳・谷村洋征(1984)5万分の1表層地質図「御船」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地・地域政策課, 25-34.
- 田中 均・長谷義隆(1990)5万分の1表層地質図「村所・須木・加久藤」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地・地域政策課, 15-23.
- 寺岡易司・奥村公男・村田明広・星住英夫(1990)佐伯地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 78p.
- 寺岡易司・宮崎一博・星住英夫・吉岡敏和・酒井 彰・小野晃司(1992)犬飼地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 129p.
- 富田宰臣・下山正一・松浦浩久・宮崎一博・石橋 毅・三木 孝(2008)大牟田地域の地質. 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, 69p.
- 豊原富士夫(2002)5万分の1表層地質図「鞍岡・椎葉村」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地資源対策課, 14-27.
- 豊原富士夫・村田正文(1987)5万分の1表層地質図「日奈久(教良木の一部を含む)」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部地域振興課, 25-42.
- 豊原富士夫・岩崎泰穎・渡辺一徳(1986)5万分の1表層地質図「八代」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部地域振興課, 25-41.
- 豊原富士夫・村田正文・長谷義隆(1990)5万分の1表層地質図「佐敷・大口」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部地域振興課, 22-36.
- 宇津川 徹・中村浄志(1998)北九州の段丘地形とAso-4火砕流堆積物. ペドロジスト, 42, 44-56.
- 渡辺一徳・藤本雅太郎(1994)5万分の1表層地質図「高森・三田井」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地対策課, 16-23.
- 渡辺一徳・藤本雅太郎(1995)5万分の1表層地質図「阿蘇山・竹田」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地対策課, 15-28.
- 渡辺一徳・藤本雅太郎(1996)5万分の1表層地質図「山鹿・荒尾・大牟田・久留米」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地対策課, 17-25.
- 渡辺一徳・藤本雅太郎(1997)5万分の1表層地質図「八方ヶ岳」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地対策課, 14-21.
- 渡辺一徳・藤本雅太郎(1998)5万分の1表層地質図「日田・森・宮原」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地資源対策課, 16-26.
- 渡辺一徳・村崎泰文(1988)八代市二見盆地の火砕流堆積物. 熊本大学教育学部紀要, 自然科学, no.37, 39-47.
- 山口 勝・富田宰臣・野井英明(1987)5万分の1表層地質図「大牟田・山鹿・荒尾」及び同説明書. 福岡県筑後広域生活圈土地分類基本調査, 福岡県農政部農地計画課, 27-35.
- 山口 勝・中田節也・西山忠男・野井英明(1987)5万分の1表層地質図「日田・八方ヶ岳」及び同説明書. 福岡県筑後広域生活圈土地分類基本調査, 福岡県農政部農地計画課, 29-34.
- 吉岡敏和・星住英夫・宮崎一博(1997)大分地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 65p.

付録2 阿蘇4火砕流堆積物の層厚を参照した文献

- 足立富男(2004) 5万分の1表層地質図「熊田」及び同説明書. 東臼杵・西臼杵地域土地分類基本調査, 宮崎県農政水産部農村建設課, 32-50.
- 足立富男(2008) 5万分の1表層地質図「諸塚山」及び同説明書. 東臼杵・西臼杵地域土地分類基本調査, 宮崎県農政水産部農村建設課, 23-37.
- 足立富男・遠藤 尚・金子弘二(1987) 5万分の1表層地質図「日向」及び同説明書. 東臼杵・日向地域土地分類基本調査, 宮崎県農政水産部農業振興課, 10-18.
- 足立富男・遠藤 尚・金子弘二(1989) 5万分の1表層地質図「延岡・島浦」及び同説明書. 東臼杵・延岡地域土地分類基本調査, 宮崎県農政水産部農業振興課, 11-18.
- 防災科学技術研究所(2009) ジオ・ステーション(Geo-Station). <https://www.geo-stn.bosai.go.jp/> (閲覧日: 2021年11月15日).
- 土木研究所(2008) 国土地盤情報検索サイト「KuniJiban». <http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/index.html> (閲覧日: 2022年11月15日).
- 遠藤秀典・鈴木祐一郎(1986) 妻及び高鍋地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 105p.
- 郷原保真・新堀友行・鈴木康司・野村 哲・小森長生(1964) 北九州の第四紀層に関する諸問題. 資源科学研究所彙報, no.62, 83-108.
- 羽田野誠一・岡部文武・渡辺征子・古川俊太郎(1974) 北松地域において過去に形成された大規模地すべり地形の一覧表. 防災科学技術総合研究報告, no.32, 7-23.
- 日高 稔・森山善蔵(1975) 5万分の1表層地質図「臼杵・保戸島」及び同説明書. 日豊海岸国定公園観光レクリエーション基地土地分類基本調査, 大分県農政部久住飯田地域農業開発課, 31-34.
- 日高 稔・桃井 斉・横溝宏佳・森山善蔵(1974) 5万分の1表層地質図「久住」及び同説明書. 久住飯田広域農業開発地域土地分類基本調査, 大分県農政部耕地課, 19-29.
- 日高 稔・桃井 斉・横溝宏佳・森山善蔵(1975) 5万分の1表層地質図「犬飼」及び同説明書. 大分地区新産業都市土地分類基本調査, 大分県農政部耕地課, 23-34.
- 日高 稔・桃井 斉・横溝宏佳・森山善蔵(1978) 5万分の1表層地質図「竹田」及び同説明書. 大野川上中流農業開発地域土地分類基本調査, 大分県久住飯田地区農業開発課, 28-41.
- 星住英夫・渡辺一徳(1996) 新期雲仙火山に由来する火砕流堆積物と広域テフラー雲仙火山北麓での層序一. 第四紀露頭集ー日本のテフラ, 第四紀学会, 298.
- 星住英夫・渡辺一徳・阪口圭一・宇都浩三・小野晃司・中村 武(1997) 阿蘇カルデラ内の深部ボーリングコアで確認された阿蘇4火砕流堆積物. 日本火山学会講演予稿集, 1997, no.2, 5.
- 市谷年弘・鈴木毅彦・三好教夫・星見清晴(1996) 山口県徳佐盆地における68mボーリング試料からの阿蘇4テフラの検出. 鳥取県立博物館研究報告, no.33, 39-45.
- 石井邦宙・下山正一・松田時彦(1994) 行橋平野の最終間氷期と完新世の旧汀線高度. 九州大学理学部研究報告(地球惑星), 18, 157-174.
- 今西 茂・岩尾雄四郎(1973) 5万分の1表層地質図「高瀬」及び同説明書. 玉名・有明地域土地分類基本調査, 熊本県, 15-19.
- 今西 茂・田村 実(1958) 5万分の1表層地質図「熊本」及び同説明書. 土地分類基本調査, 経済企画庁・熊本県, 44p.
- 勘米良亀齡・小川勇二郎・田中豊俊・鹿田昭夫・千足恭平・沢村昌俊(1980) 5万分の1表層地質図「甘木」及び同説明書. 福岡県福岡広域生活圏佐賀県東部開発地域土地分類基本調査, 福岡県農政部農地計画課, 28-35.
- 河野通弘・藤井厚志・松尾征二(1985) 秋吉地域の石灰洞と第四系. 日本地質学会第92年学術大会見学旅行案内書, 163-183.
- 木村克己・康 義英・花島裕樹(2013) 福岡平野の警固断層と第四系の地下地質構造. 海陸シームレス地質情報集「福岡沿岸域」, 数値地質図S-3, 地質調査総合センター, 52p.
- 地盤工学会九州支部・九州地盤情報システム協議会(2005) 九州地盤情報共有データベース2005, CD-ROM出版物. 社団法人地盤工学会九州支部・九州地盤情報システム協議会.
- 地盤工学会九州支部・九州地盤情報システム協議会(2012) 九州地盤情報共有データベース(第2版), CD-ROM出版物. 社団法人地盤工学会九州支部・九州地盤情報システム協議会.
- 地盤工学会九州支部・九州地盤情報システム協議会(2019) 九州地盤情報共有データベース(第3版), CD-ROM出版物. 社団法人地盤工学会九州支部・九州地盤情報システム協議会.
- 熊本県(1996) 布田川断層・立田山断層に関する調査. 平成7年度地震調査研究交付金成果報告書, 294p.
- 熊本県(1998) 日奈久断層に関する調査. 平成9年度地震調査研究交付金成果報告書, 180p.
- 熊本県地質調査業協会地盤図編纂委員会(2003) 熊本市周辺地盤図. 熊本県地質調査業協会, 270p.
- 町田 洋(1996) 人吉盆地における阿蘇・阿多などの火砕流堆積物. 第四紀露頭集ー日本のテフラ, 第四紀学会, 55.
- 町田 洋・新井房夫・百瀬 貢(1985) 阿蘇4火山灰ー分布の広域性と後期更新世指標層としての意義一. 火山, 第2集, 30, 49-70.
- 松尾征二(1978) 阿武郡朝日村及び阿東町の洪積世火山灰層. 山口県の自然, no.5, 12-18.
- 松尾征二(2001) 山口県内に分布する更新世後期~完新世広域火山灰(その1)ー阿蘇4火砕流堆積物(Aso-4火砕流)1ー. 山口地学会誌, no.47, 1-12.
- 松岡數充(2013) 自然編第1章第5節大村湾. 大村市史編さん委員会(編), 新編大村市史, 第1巻, 自然・原始・古代編, 大村市, 45-62.

- 長岡信治(1984)大隅半島北部から宮崎平野に分布する後期更新世テフラ. 地学雑誌, **93**, 347-370.
- 長岡信治(1996)宮崎平野の三財原面をおおう後期更新世テフラ. 第四紀露頭集—日本のテフラ, 第四紀学会, 303.
- 長岡信治・横山祐典・中田正夫・前田保夫・奥野淳一・白井克己(1997)有明海南東岸玉名平野の地形発達史と完新世海面変化. 地理学評論, ser. A, **70**, 287-306.
- 長崎県(2005)雲仙活断層群に関する調査. 平成16年度地震関係基礎調査交付金成果報告書, 301p.
- 中澤 努・坂田健太郎・星住英夫・卜部厚志・佐藤善輝・吉見雅行(2018)2016年熊本地震で甚大な被害を受けた益城町市街地の地下を構成する火山性堆積物の層序と分布形態. 地質学雑誌, **124**, 347-359.
- 成瀬敏郎・井上克弘(1982)北九州および与那国島のレス—後期更新世の風成塵の意義. 地学雑誌, **91**, 164-180.
- NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)(1995)阿蘇山西部地域. 地熱開発促進調査報告書, no.38, 1508p.
- NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)(1996)万年山地域. 地熱開発促進調査報告書. no.A-1, 723p.
- NEDO(新エネルギー総合開発機構)(1989)久住地域. 地熱開発促進調査報告書. no.18, 768p.
- 野間泰二(1965)5万分の1表層地質図「佐賀」及び同説明書. 土地分類基本調査, 経済企画庁, 31p.
- 小野晃司・松本徂夫・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図幅), 地質調査所, 145p.
- 大島恒彦(1974)5万分の1表層地質図「武雄」及び同説明書. 佐賀県長期総合開発地域土地分類基本調査, 佐賀県企画部企画第二課, 30-36.
- 大島恒彦(1976)5万分の1表層地質図「伊万里」及び同説明書. 佐賀県伊万里湾総合開発地域長崎県北松総合開発地域土地分類基本調査, 佐賀県総務部土地対策課, 22-25.
- 大島恒彦(1977)5万分の1表層地質図「鹿島」及び同説明書. 佐賀県西部総合開発地域土地分類基本調査, 佐賀県企画室, 19-23.
- 尾崎正紀・浜崎聡志・吉井守正(1993)折尾地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 121p.
- 産業技術総合研究所(2007)布田川・日奈久断層帯の活動性および活動履歴調査. 基盤的調査観測対象断層帯の追加・補完調査成果報告書, no.H18-7, 35p.
- 産業技術総合研究所(2014)佐賀平野北縁断層帯. 地域評価のための活断層調査(九州地域)平成25年度報告書, 39p.
- 産業技術総合研究所(2015)佐賀平野北縁断層帯. 地域評価のための活断層調査(九州地域)平成26年度報告書, 51p.
- 下山正一・松浦浩久・日野剛徳(2010)佐賀地域の地質. 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, 97p.
- 下山正一・亀山徳彦・宮田雄一郎・田代雄二(1984)福岡県糸島平野の第四系. 北九州大学文学部紀要, B系列, no.17, 39-58.
- 白池 図(2001)5万分の1表層地質図「村所」及び同説明書. 児湯地域土地分類基本調査, 宮崎県農政水産部農村建設課, 31-37.
- 白池 図(2005)5万分の1表層地質図「三田井・高森」及び同説明書. 東臼杵・西臼杵地域土地分類基本調査, 宮崎県農政水産部農村建設課, 29-44.
- 白池 図(2009)5万分の1表層地質図「椎葉村」及び同説明書. 東臼杵・児湯地域土地分類基本調査, 宮崎県農政水産部農村計画課, 32-41.
- 白池 図(2010)5万分の1表層地質図「鞍岡」及び同説明書. 東臼杵・西臼杵地域土地分類基本調査, 宮崎県農政水産部農村計画課, 29-42.
- 田村 実・渡辺一徳(1986)5万分の1表層地質図「菊池」及び同説明書. 菊池・大津地域土地分類基本調査, 熊本県土地利用対策課, 22-27.
- 田村 実・渡辺一徳・谷村洋征(1984)5万分の1表層地質図「御船」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地・地域政策課, 25-34.
- 辻 智大・太田岳洋・藤原尚起・中田英二・潮田雅司・中村千怜(2022)阿蘇カルデラから170 km離れた山口市徳地で見つかったAso-4火砕流堆積物. 国際噴火史研究集会講演要旨集, 2022-1, 107-111.
- 豊原富士夫・岩崎泰穎・渡辺一徳(1986)5万分の1表層地質図「八代」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部地域振興課, 25-41.
- 浦田英夫・千足恭平・小原浄之介・鹿田昭夫・唐木田芳文・沢村昌俊・田中豊俊(1982)5万分の1表層地質図「久留米」及び同説明書. 福岡県筑後広域生活圈土地分類基本調査, 福岡県農政部農地計画課, 31-36.
- 渡辺一徳・藤本雅太郎(1994)5万分の1表層地質図「高森・三田井」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地対策課, 16-23.
- 渡辺一徳・藤本雅太郎(1996)5万分の1表層地質図「山鹿・荒尾・大牟田・久留米」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地対策課, 17-25.
- 渡辺一徳・藤本雅太郎(1998)5万分の1表層地質図「日田・森・宮原」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地資源対策課, 16-26.
- 渡辺一徳・谷村洋征・岩崎泰穎・豊原富士夫(1985)5万分の1表層地質図「砥用」及び同説明書. 土地分類基本調査, 熊本県企画開発部土地・地域政策課, 25-36.
- 山口 勝・下山正一・亀山徳彦・西山忠男・富田宰臣(1985)5万分の1表層地質図「前原・玄界島」及び同説明書. 福岡県福岡広域生活圈土地分類基本調査, 福岡県農政部農地計画課, 24-33.
- 山口 勝・富田宰臣・野井英明(1987)5万分の1表層地質図「大牟田・山鹿・荒尾」及び同説明書. 福岡県筑後広域生活圈土地分類基本調査, 福岡県農政部農地計画課, 27-35.

- 柚原雅樹・松田芳諒・平塚晃大・宮崎桂輔(2010)阿蘇-4火砕流堆積物中の火山ガラスと軽石の蛍光X線分析. 福岡大学理学集報, **40**, 217-231.
- 付録3 阿蘇4火山灰の層厚を参照した文献
- 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*, **185**, 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」の下北半島沖熱航海コア試料:物性変動から予測される古環境変動化石, **87**, 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・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, 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紀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.
- 檀原 徹・山下 透・岩野英樹・竹村恵二・林田 明(2010)琵琶湖1400 m掘削試料の編年:フィッシュン・トラック年代とテフラ同定の再検討. 第四紀研究, **49**, 101-119.
- Derkachev, A. N., Nikolaeva, N. A., Gorbarenko, S. A., Portnyagin, M. V., Ponomareva, V. V., Nürnberg, D., Sakamoto, T., Iijima, K., Liu, Y., Shi, X., Lv, H. and Wang, K. (2016) Tephra layers of in the quaternary deposits of the Sea of Okhotsk: Distribution, composition, age and volcanic sources. *Quaternary International*, **425**, 248-272.
- Furuta, T., Fujioka, K. and Arai, F. (1986) Widespread submarine tephra around Japan - Petrographic and chemical properties. *Marine Geology*, **72**, 125-142.
- 入谷 剛・北川陽一・大井信夫・古澤 明・宮脇理一郎(2005)長野県北部, 上部更新統高野層のテフラと花粉分析に基づく環境変遷. 第四紀研究, **44**, 323-338.
- 叶内敦子(1990)群馬県小川島と山梨県鶴島における阿蘇4火山灰を挟む泥炭層の花粉分析. 駿台史学, no.79, 25-34.
- 川村教一(2009)愛媛県松山平野における更新統および完新統の層序と火山灰の対比. 第四紀研究, **48**, 379-394.
- 川崎輝雄(1995)阿武川上流域における地形発達史. 日本地理学会予稿集, no.47, 102-103.
- 公文富士夫(1990)野尻湖の湖底ボーリング試料と音波反射層との対比. 地質学論集, no.36, 167-178.
- Machida, H. and Arai, F. (1983) Extensive ash falls in and around the Sea of Japan from large late Quaternary eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **18**, 151-164.
- 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示標層としての意義. 火山, **30**, 49-70.
- 水野清秀・下川浩一・吾妻 崇・杉山雄一・片川秀基・柴田俊治・吉田 進・浜田昌明(2003)浅層反射法地震探査とボーリングによる邑知濁断層帯南縁部の地下地質構造調査. 活断層・古地震研究報告, no.3, 33-46.
- 森江孝志・小澤大成・奥村 清(2001)徳島県阿讃山地南麓の段丘堆積物中から見出された長手テフラとその対比. 第四紀研究, **40**, 331-336.
- 守田益宗・須貝俊彦・古澤 明・大野裕記・西坂直樹・辻智大・池田倫治・柳田 誠(2014)宇和盆地の花粉分析からみたMIS15以降の植生変遷史. 植生史研究, **23**, 3-19.
- 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)に挟む広域テフラ層の層序と編年. 第四紀研究, **46**, 305-325.
- 長橋良隆・深谷桃子・池原 研・佐川拓也(2022)若狭湾沖海底堆積物コアに挟まる後期更新世から完新世テフラの層序と広域テフラとの対比. 第四紀研究, **61**, 123-124.
- 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.
- 中島正志・藤井純子(1998)阿蘇4火山灰および阿蘇火砕流堆積物の古地磁気方位. 第四紀研究, **37**, 371-383.
- 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.
- 小倉博之・吉川周作・此松昌彦・木谷幹一・三田村宗樹・石井久夫(1992)大阪府, 上町台地南部の台地構成層と地形面の形成時期. 第四紀研究, **31**, 179-185.
- 大石雅之・鈴木毅彦(2004)八ヶ岳火山を起源とする新时期テフラ群の層序と噴火史. 火山, **49**, 1-12.
- 大井信夫・三浦英樹(2005)北海道北部稚内市恵北における阿蘇4 (Aso-4)直下の泥炭層から得られた花粉群. 第四紀研究, **44**, 45-50.
- Ooi, N., Tsuji, S., Danhara, T., Noshiro, S., Ueda, Y. and

- Minaki, M. (1997) Vegetation change during the early last Glacial in Haboro and Tomamae, northwestern Hokkaido, Japan. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **97**, 79–95.
- 大井信夫・北田奈緒子・齊藤礼子・宮川ちひろ・岡井大八 (2004) 福井県中池見後期更新世堆積物の花粉分析からみた植生史. *植生史研究*, **12**, 61–73.
- 大嶋秀明・徳永重元・下川浩一・水野清秀・山崎晴雄 (1997) 長野県諏訪湖湖底堆積物の花粉化石群集とその対比. *第四紀研究*, **36**, 165–182.
- Sagawa, T., Nagahashi, Y., Satoguchi, Y., Holbourn, A., Itaki, T., Gallagher, S. J., Saavedra-Pellitero, M., Ikehara, K., Irino, T. and Tada, R. (2018) Integrated tephrostratigraphy and stable isotope stratigraphy in the Japan Sea and East China Sea using IODP Sites U1426, U1427, and U1429, Expedition 346 Asian Monsoon. *Progress in Earth and Planetary Science*, **5**:18.
- Sakamoto, T., Ikehara, M., Uchida, M., Aoki, K., Shibata, Y., Kanamatsu, T., Harada, N., Iijima, K., Katsuki, K., Ashi, H., Takahashi, K., Sakai, H. and Kawahata, H. (2006) Millennial-scale variations of sea-ice expansion in the southwestern part of the Okhotsk Sea during the past 120 kyr: Age model and ice-rafted debris in IMAGES Core MD01-2412. *Global and Planetary Change*, **53**, 58–77.
- 清水秋秀・鳥井真之・椎原美紀・尾田太良 (1997) 三陸沖コア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.
- Smith, V. C., Staff, R. A., Blockley, S. P. E., Bronk Ramsey, C., Nakagawa, T., Mark, D. F., Takemura, K., Danhara, T. and Suigetsu 2006 Project Members (2013) Identification and correlation of visible tephra 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.
- 鈴木毅彦 (1990) テフロクロノロジーからみた赤城火山最近20万年の噴火史. *地学雑誌*, **99**, 60–75.
- 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.
- 寺平 宏 (2000) 伊那谷のテフラ露頭記録を中心にー. *伊那谷自然史論集*, **1**, 1–9.
- Ushioda, M., Nakamura, C., Tsuji, T., Ikeda, M., Ohnishi, K. and Nishizaka, N. (2023) Tephra from large eruption in Kyushu area observed in UT-iwk core from Uwa basin, western Shikoku. *Rock Mechanics and Engineering Geology in Volcanic Fields, Proceedings of the 5th International Workshop on Rock Mechanics and Engineering Geology in Volcanic Fields*, CRC Press, 18–25.
- 渡辺秀男・卜部厚志・荒川勝利 (1999) 新潟県津南町地域の貝塚段丘堆積物中の広域火山灰. *地球科学*, **53**, 420–433.
- 山元孝広 (2012) 福島ー栃木地域における過去約30万年間のテフラの再記載と定量化. *地質調査研究報告*, **63**, 35–91.

文献引用例

星住英夫・宝田晋治・宮縁育夫・宮城磯治・山崎 雅・金田泰明・下司信夫（2023）阿蘇カルデラ阿蘇4火砕流堆積物分布図. 大規模火砕流分布図, no.3, 産総研地質調査総合センター, 35p.

Bibliographic reference

Hoshizumi, H., Takarada, S., Miyabuchi, Y., Miyagi, I., Yamasaki, T., Kaneda, Y. and Geshi, N. (2023) Distribution Map of Aso-4 Ignimbrite and associated deposits, Aso Caldera, Japan. Distribution Map of Large-Volume Ignimbrites in Japan, no.3, Geological Survey of Japan, AIST, 35p. (in Japanese with English abstract)

大規模火砕流分布図 3

阿蘇カルデラ阿蘇4火砕流堆積物分布図

令和5年4月12日発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7
<https://www.gsj.jp/inquiries/index.html>

Distribution Map of Large-Volume Ignimbrites in Japan 3

Distribution Map of Aso-4 Ignimbrite and associated deposits, Aso Caldera, Japan

Published on April 12, 2023

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, 305-8567, JAPAN
<https://www.gsj.jp/inquiryEN.html>