



九州の活火山データベースを考える

# 阿蘇火山における 後カルデラ噴火活動の データベース化

—テフラ研究に必要なデータベース像—

宮 縁 育 夫

Database for tephrochronological study on  
post-caldera activity of Aso Volcano, Japan

Yasuo Miyabuchi

みやぶち やすお : 熊本大学教育学部

わが国ではこれまで多くのテフロクロノロジーによる火山噴火史研究が行われてきたが、フィールド調査だけでなく、データのとりまとめに関しても解決すべき問題は多い。本論では、阿蘇火山の後カルデラ噴火活動史に関する調査を例に、テフラ研究を効率的に進めるために構築すべきデータベース像について述べる。

### 1. はじめに

阿蘇火山は、南北約25km、東西約18kmのカルデラを有する火山である。そのカルデラ内に存在する後カルデラ中央火口丘群は、現在も活動中の中岳をはじめとする17座以上の火山の複合体であり(小野・渡辺, 1985)、溶岩流や火砕岩からなる山体を形成するとともに、膨大な量の降下テフラを周辺地域に堆積させてきた。

筆者はテフロクロノロジーによる阿蘇火山の後カルデラ噴火活動史の解明を目的とした研究を行ってきたが、フィールド調査を開始してからテフラ層序の概要を報告する論文を発表するまで10年近い時間がかかってしまった。これには筆者の調査技術や能力の不足によるところが大きい。野外調査によって得られたデータを整理して

まとめるのに多大な時間を要したことも理由としてあげられる。本論では、テフラ研究者が現地調査で何を観察し、どのようなデータを取得しているのかを述べ、テフラ研究を効率的に進めるために必要なデータベース像について考察する。

### 2. 阿蘇火山中央火口丘群とテフラ層序の概要

阿蘇カルデラ内には、約9万年前(松本ほか, 1991)のAso-4噴火直後から活動を開始したとされる、後カルデラ中央火口丘群が存在している(小野・渡辺, 1983)。これらの火口丘群は少なくとも17座以上の火山の複合体であり、膨大な量の溶岩や降下テフラを噴出してきた(Miyabuchi, 2009など)。中央火口丘群山体の地形や構造は多様であり、岩石も玄武岩から流紋岩まで広い化学組成をもっている。例えば、高野尾羽根火山はカルデラ西端付近に黒雲母流紋岩からなる溶岩ドームを形成している(渡辺, 2001)。輝石デイサイトの草千里ヶ浜火山は直径約1kmの火口をもつ、溶結した軽石丘であり、約3万年前に非常に大規模なプリニー式噴火を起こし、周辺地域に多量の軽石を堆積させている。烏帽子岳と御竈門山は輝石

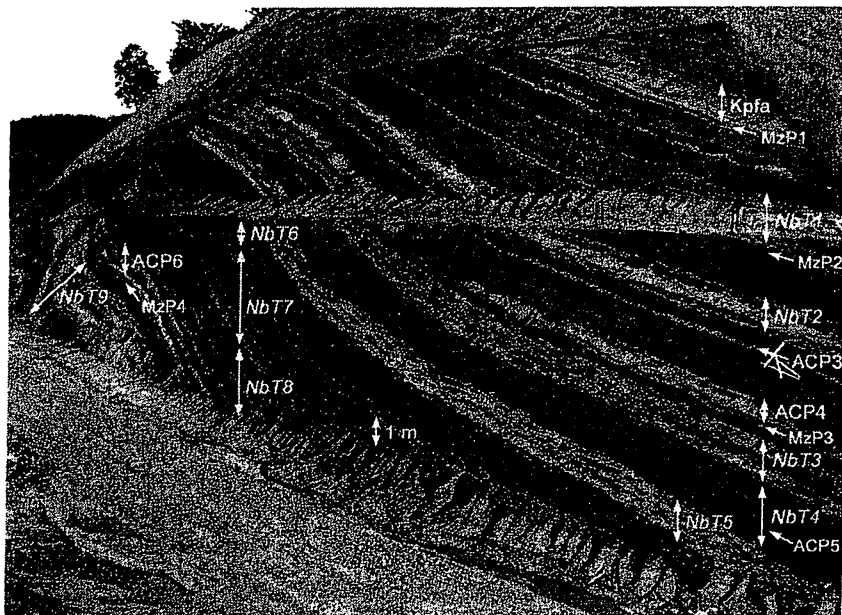
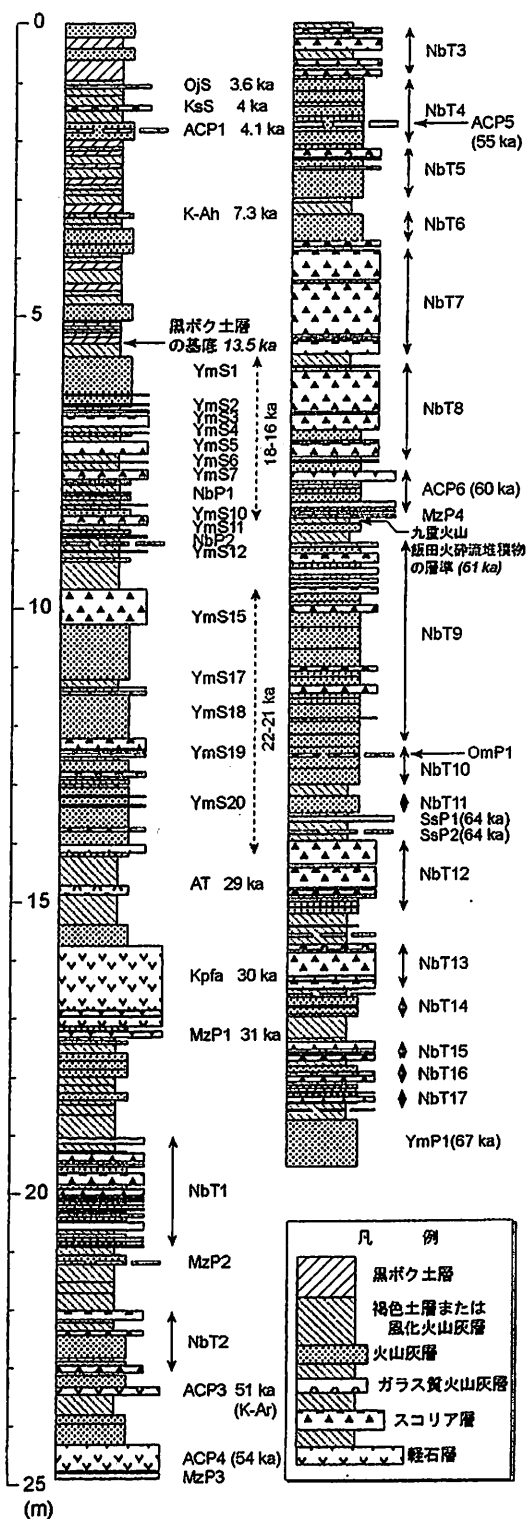


図1 阿蘇カルデラ東方域における降下テフラ断面(阿蘇市波野中久保付近)。



安山岩からなる成層火山である。夜峰山、鷲ヶ峰、楯尾岳、高岳はかんらん石輝石安山岩～玄武岩からなる成層火山であり、頂上付近には多量のアグチネートや溶結したスパターが認められ、山麓には溶岩流が存在している。蛇ノ尾、杵島岳、往生岳、米塚はかんらん石輝石玄武岩のスコリア丘である。カルデラ内で唯一活動を続ける中岳は、玄武岩質安山岩～玄武岩からなる火山の複合体である。中岳の活動は約2万年前に始まったとされており(宮縁ほか, 2004)、古期山体(アグチネート・溶岩)、新期山体(溶岩)および最新期火砕丘の三重構造をもっている(小野・渡辺, 1985)。

阿蘇火山中央火口丘群起源の降下テフラは、カルデラ東方域にあたる阿蘇市一の宮町・波野および高森町付近にとくに厚く堆積している(図1)。Aso-4火砕流以降の全層厚は厚いところで60mを越えていて、カルデラ東縁では100m程度に達しており(渡辺・藤本, 1992)、膨大な数のテフラが存在している(図2)。中央火口丘群を形成したマグマの組成としては玄武岩～玄武岩質安山岩が最も卓越している(小野, 1989)。そのことを反映して、降下テフラの大部分は安山岩から玄武岩質の降下スコリア堆積物と降下火山灰である。一般に苦鉄質のテフラは、降下軽石に比べて小規模で追跡しにくい堆積物であるだけでなく、岩相が酷似するために対比が困難なことが多い。また、全体的にテフラ間の土壌層も薄くて認識しにくく、火山灰層との区別が容易でないことも特徴である。しかし、そうした苦鉄質の降下スコリアや火山灰層間には、広域テフラである約29ka(奥野, 2002)の始良Tn火山灰(略称AT; 町田・新井, 1976, 2003)と7.3cal ka(奥野, 2002)の鬼界アカホヤ火山灰(K-Ah; 長友・庄子, 1977; 町田・新井, 1978, 2003)が挟在する(渡辺・高田, 1990; 山

図2 阿蘇火山における最近約67000年間の降下テフラ模式柱状図(Miyabuchi, 2011)。テフラの年代は<sup>14</sup>C年代の暦年較正結果、括弧書きの年代は層序から推定した年代である。K-AhとATの年代は奥野(2002)、ACP3のK-Ar年代は松本ほか(1991)による。

田・久保寺, 1996) とともに, 中央火口丘群起源の 36 層に及ぶ降下軽石が存在しており (宮縁ほか, 2003), それらをもとにテフラ層序全体の骨組みが確立されつつある (Miyabuchi, 2009).

### 3. 調査地点でのテフラ観察—現地では何を観察すべきか—

筆者がこれまで調査を行ったのは阿蘇カルデラとその周辺域の数 100 地点である. 調査地点の位置情報は最も重要なデータのの一つである. 以前はその位置を 1:25,000 地形図に地点名とともに記入していたが, 現在は携帯型 GPS で緯度・経度を計測し, 調査終了後にカシミール 3D (杉本智彦氏作成の地図ナビゲータ・フリーソフトウェア) に位置情報を入力して, データを保存している.

調査露頭の規模は高さ 1m 以下のものから 20 ~ 30m 以上に達するものなど, さまざまである. 一断面におけるテフラ (土壌層を含む) の数も 10 層以下から数 100 層であり, その層数に比例して観察に要する時間も長くなっており, 長い場合で 1 週間以上必要なことがあった. まず最初に調査断面全体を眺めて鍵層などを確認し, どの年代の噴出物が観察できるのかを把握してから, 細かい観察をするように努めている. 露頭表面をガーデニング用のねじり鎌でクリーニングして, テフラや溶岩, それらの間に挟在する埋没土壌層に区分していくが, とくにテフラでは次の点を詳しく観察して記載している.

(1) 層厚, (2) 色調 (大ざっぱに判断することが多いが, マンセル方式の標準土色帖を使用することもある), (3) 主要構成物 (軽石やスコリアなど), (4) 混入物 (変質・類質岩片の有無), (5) 平均粒径 (淘汰の程度も含めて), (6) 最大粒径 (軽石・スコリア・岩片がある場合にはそれぞれ別に最大 3 個の長径を測定), (7) 堆積構造 (級化・逆級化, 基質支持・礫支持の状況など), (8) その他気づいた特徴などである. 含まれる鉱物については現地で観察できる場合には記載するが, 筆者は試料を持ち帰ってから実体顕微鏡で観察すること

が多い. あるテフラが複数のユニット (フォールユニットなど) からなる場合は全てのユニットについて (1) ~ (8) の項目を記載するように努めている.

テフラ間に挟在する土壌層の認定は極めて重要である. 土壌層は噴火の休止期あるいは静穏期を示す重要な堆積物 (?) であるとともに,  $^{14}\text{C}$  年代測定のための試料となる. しかし, 阿蘇火山のテフラは火山灰層が多いため, ある地層が火山灰層の遠方相なのか, 土壌層なのかの判定は必ずしも容易ではない. 一地点では決定できないことが多く, 複数の地点で同一の層準を観察し, どちらに考えるのが合理的かを判断して決定する必要がある. ときには試料を採取して, 乾式燃焼法によって炭素含有量を測定することもある (ただ, 炭素含有量が何 % 以上なら, 土壌であるという基準があるわけではない). 筆者は土壌層についても, 層厚・色調・粒径 (シルト・粘土など)・混入物とその粒径・堆積構造・特徴を記載している.

筆者は一断面を埋没土壌層で区分して, 上位よりテフラの番号を付けて記載している. 1 つのテフラ層 (1 つの噴火堆積物ユニット) 中にフォールユニットが認められる場合には, 128-1 ~ 128-4 (下位から上位, 4 層のフォールユニットからなる) などと番号を付け, 筆者は 1 テフラユニットと呼んでいる. あとでフィールドノートを見ると, 同じ 128 という番号がついたテフラが何層かあった場合, それらは一連の噴火で堆積したものであることがわかる. 観察したテフラ層が, すでに命名されたものであることがわかる場合には, そのテフラ名を忘れずに記載しておく. 調査時点においてテフラの名前がない場合には, 別の地点の何番目のテフラにあたるのかを記述しておくことも後の対比にとって重要である. 埋没土壌層については, 上位と下位のテフラの番号を使用してナンバーリングをしている. 例えば, 128 番目と 129 番目のテフラ間の土壌層であれば "128/129" と命名している.

調査時には露頭全体や個々のテフラ層に至るまで, できる限り多くの写真を撮影するようにして

いる。また、必要に応じて全フォールユニットあるいは代表的なユニットのテフラ試料の採取も行う。採取する量は鉱物観察、化学分析、粒度分析用など、目的に応じて決めている。さらに、テフラ間に挟在する埋没土壌層もサンプリングすることが多い。土壌層は<sup>14</sup>C年代測定用の試料であるとともに、環境変遷を知るための植物珪酸体分析用等にも重要な試料である。

#### 4. データ整理、データベースへの入力

阿蘇火山のように後カルデラ活動だけで何100層ものテフラが存在する火山では、現地調査に多大な時間と労力を要するだけでなく、調査後のデータ整理も膨大な時間がかかる作業である。テフラ研究の初期データとしては、フィールドノート（野帳）・写真・採取試料などがある。先述した現地調査によって得られたほぼすべての情報はフィールドノートに書かれており、現在はすべて手作業で、データのとりまとめや解析を行っている状況である。テフラ研究のデータを統合・管理できるデータベースが構築された場合には、フィールドノートそのもののスキャンデータを保存するとともに、ノートに書かれた情報をシステムに入力する必要がある。入力項目は次の通りである。

(1) 調査地点の位置情報（緯度・経度）

(2) 調査断面の概要（露頭の規模、最上部と最下部の年代、鍵層などの情報）

(3) テフラ層（フォールユニットを含めたもの）と土壌層の番号

(4) 各テフラ層・土壌層のデータ（層厚、色調、主要構成物、混入物、平均粒径、最大粒径、堆積構造、特徴、年代値、化学組成）

(5) 露頭写真（全体とテフラ層ごと）

(6) 試料採取状況

以上のようなデータ入力には多大な時間がかかる可能性がある。とくにテフラが数100層に達するような調査地点のデータ入力は1日を超える時間を要するかもしれないが、この作業は極めて重要である。なぜなら、一旦この入力作業をすれ

ば、その後はほぼ自動的にデータの解析と作図作業が行えるからである。

#### 5. データの出力・解析・作図

テフラ研究者が学会や論文発表に必要な図表には以下のようなものがあり、構築したデータベースにより短時間で必要な図表や解析結果が出力されることが望ましい。

##### (1) 調査地点位置図

調査地点を国土地理院発行の地形図や地勢図上、あるいは適当な間隔の等高線図や陰影図上、地質図上にプロットした図はテフラ研究論文には必ず登場するものである。必要な範囲を指定して切り出すことができ、他のドロー系ソフトウェアでも図が加工できるように、汎用性の高いフォーマット（EPSやWMF形式など）で出力できるとよい。

##### (2) 柱状図

地点ごとの対比柱状図や模式柱状図もテフラ研究の論文には不可欠なものであるが、この作成には多大な時間が必要であり、多くの研究者を悩ませているのではないかと考える。筆者は10年ほど前までは手書きで柱状図を作成していたが、現在はフィールドノートを見ながら、ドロー系ソフトウェアで長方形を積み重ねる形で柱状図を描いている。時間的には手書きの方が早いですが、コンピュータで作成しておくパターンの変更やカラー化などの修正を容易に行うことができる。

テフラのデータベースでは、地点名を入力すると自動的に柱状図が描かれ、指定した層準だけを切り出すことができるとよい。また、数多くの凡例が登録されて、必要に応じて変更できたり、平均粒径などに応じて、その層（長方形）の幅を変更できたりすると便利である。また、複数の地点の対比柱状図も作成できて、鍵層などの対比線も描けるとよい。

##### (3) 露頭写真

露頭全体の写真やテフラの写真は研究論文や報告書では重要である。現在はデジタルカメラで写真を撮影できるようになったため、写真数は膨大

なものになっており、調査日時や筆者の記憶から必要な写真を選別している状況である。データベースでは調査地点・テフラ名(番号)をリンクして露頭写真を保管しておく、地点名やテフラ名を指定するだけで、必要な写真が一覧で見れて、選定も容易であろう。

#### (4) テフラ分布図

降下テフラの場合、観察できた地点での層厚データを地図上にプロットして、それをもとに等層厚線(アイソパック)を作成して、テフラの分布を明らかにする必要がある。筆者は現在、ドロー系ソフトウェアを使用して調査地点をプロットした地図に層厚の数値を記入し、そのデータを参考にして曲線で等層厚線を描いている。データベースでは調査地点の位置情報と層厚データ(各フォールユニットおよび全ユニット)が入力されているので、テフラ番号・名称、フォールユニット名を指定すれば、層厚値が印字された地図(地図も等高線図や陰影図など選択可能)が必要な範囲だけ出力されるとよい。等層厚線まで自動で描けると便利だが、コンピュータに書かせると全てのデータを律儀に反映させてしまうため、あちこちに分布の極(テフラが厚いところ)ができたり、なめらかな等層厚線にならなったりする。この等層厚線を書く作業は人間が適当にデータを間引くなどして行った方がよい。最大粒径分布図も層厚分布図と同様の方法で作成できるであろう。

#### (5) テフラ見かけ体積の算出

アイソパック作成の目的はテフラの分布を把握するとともに、噴出源を推定することである。もう一つの目的として、テフラの見かけ体積を算出することが挙げられる。現在、筆者が行っているテフラの見かけ体積計算の方法は次の通りである。まずドロー系ソフトウェアで、等層厚線から楕円形様の閉じた図形を作成し、その内部を塗りつぶしてJPEGファイルに出力する。JPEGファイルをペイント系ソフトウェアに読み込み、図形のピクセル数を数えさせることによって、各等層厚線が囲む(図形の)面積を求めている。それによって得られた層厚と面積との関係を Fierstein and

Nathenson (1992) の方法(層厚と面積の平方根との関係を指数関数にフィッティングさせて、そのカーブを積分する方法)で算出している。最後の計算には表計算ソフトウェアを使用しており、筆者自身が簡単なテンプレートを作成して、層厚と面積のデータを入力すると計算できるようになっている。この一連の作業は難しいものではないが、面倒で多大な時間を要している。

データベースでは(4)の作業で作成した等層厚線からボタンを押すだけで自動的に見かけ体積が計算できると便利である。すべての等層厚線を使用しないこともあるので、必要なものを選択できるとよい。また、見かけ体積の計算方法としては Fierstein and Nathenson (1992) 以外にも、Pyle (1989) の方法なども研究者の間でよく用いられている。最近では宝田ほか(2001)の方法なども提唱されている。計算方法も選択できると、大規模なプリニー式噴火による堆積物から小規模な水蒸気爆発堆積物まで、さまざまな噴火様式や規模の堆積物に適用できると考えられる。このシステムによって計算された噴出物量データは自動的に保存され、その程度に応じて噴火の規模を表す火山爆発指数(VEI; Newhall and Self, 1982)なども付与されると便利であろう。

#### (6) テフラ噴出量階段図

テフラによる噴火史研究の論文のまとめでは、横軸に時間(年代)、縦軸に累積噴出物量(見かけ体積であることもあるが、溶岩換算量になっていることがある)を示した通称"階段図"が登場することがある(例えば、Miyabuchi, 2011 など)。この図により、どの時代に噴出量が多いのかやある期間の噴出率がわかるほか、その火山のマグマ噴出傾向が時間予測型なのか噴出量予測型なのか(小山・吉田, 1994)も議論することができる。

前述した(5)までの作業で噴出物の見かけ体積が求まっているので、データベースに各噴出物の年代値が入力されていれば、簡単に階段図が作成できるはずである。その図もドロー系ソフトウェアで読み込めるフォーマットで出力できれば、あとに必要な文字なども書き込むことができる。

## 6. おわりに

以上のようなテフラ研究のデータベースが構築されることになれば、データ解析や研究のとりまとめが効率的に進められるだけでなく、これまで個々の研究者が自分のやり方だけで行ってきた観察方法がある程度統一されるようになり、共通の基準で露頭観察が行われるというメリットも生まれるであろう。

本論は一人の研究者が現地調査から論文発表までを効率的に行うという観点からテフラのデータベース化の必要性について述べたが、こうしたデータがどこかのサーバーで管理され、他の研究者や国・地方自治体の関係者などもアクセスすることができれば、防災的にも有効な情報として活用されるであろう。

謝辞：2011年7月10日に急逝された長崎大学の長岡信治氏には筆者がテフラ研究を行うきっかけを与えていただき、日頃からさまざまな刺激をいただいた。本小論を長岡信治氏に捧げたい。

## 参考文献

- [1] Fierstein, J. and Nathenson, M. (1992) : Another look at the calculation of fallout tephra volumes. *Bulletin of Volcanology*, 54, 156-167.
- [2] 小山真人・吉田 浩 (1994) : 噴出量の累積変化からみた火山の噴火史と地殻応力場. *火山*, 39, 177-190.
- [3] 町田洋・新井房夫 (1976) : 広域に分布する火山灰-始良Tn火山灰の発見とその意義. *科学*, 46, 339-347.
- [4] 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.
- [5] 町田洋・新井房夫 (2003) : 新版火山灰アトラス-日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 336p.
- [6] 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 1991 年度秋季大会講演予稿集*, 73.
- [7] Miyabuchi, Y. (2009) : A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan. *Sedimentary Geology*, 220, 169-189.
- [8] 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.
- [9] 宮縁育夫・畠住英夫・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.
- [10] 宮縁育夫・畠住英夫・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.
- [11] 長友由隆・庄子貞雄 (1977) : アカホヤ, イモゴ, オンジの対比ならびに噴出源について-アカホヤの土壌肥料的な研究 (第 2 報). *日本土壌肥科学雑誌*, 48, 1-7.
- [12] Newhall, C. G. and Self, S. (1982) : The Volcanic Explosivity Index (VEI) : an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research (Oceans & Atmospheres)*, 87, 1231-1238.
- [13] 奥野充 (2002) : 南九州に分布する最近約 3 万年間のテフラの年代学的研究. *第四紀研究*, 41, 225-236.
- [14] 小野晃司 (1989) : 阿蘇火山の岩石. *日本火山学会 1989 年度秋季大会火山学セミナー「阿蘇火山」*, 8-14.
- [15] 小野晃司・渡辺一徳 (1983) : 阿蘇カルデラ. *月刊地球*, 5, 73-82.
- [16] 小野晃司・渡辺一徳 (1985) : 阿蘇火山地質図 (5 万分の 1). *火山地質図 4, 地質調査所*.
- [17] Pyle, D. M. (1989) : The thickness, volume and grain size of tephra fall deposits. *Bulletin of Volcanology*, 51, 1-15.
- [18] 宝田晋治・吉本充宏・北川淳一・平賀正人・山元孝広・川邊慎久・高田亮・中野俊・畠住英夫・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.
- [19] 渡辺一徳 (2001) : 阿蘇火山の生い立ち-地質が語る大地の鼓動-. 一の宮町史 自然と文化阿蘇選書 7, 一の宮町, 241p.
- [20] 渡辺一徳・高田英樹 (1990) : 阿蘇カルデラ周辺域における火山灰層と黒ボク土の斜交. *熊本大学教育学部紀要 (自然科学)*, 39, 21-27.
- [21] 渡辺一徳・藤本雅太郎 (1992) : 表層地質図「阿蘇山・竹田」および説明書. *土地分類基本調査 (5 万分の 1)*, 熊本県, 15-28.
- [22] 山田一郎・久保寺秀夫 (1996) : 阿蘇外輪山およびその周辺地域における阿蘇 4 以降のテフラ層序と土壌層序. *九州農業試験場研究資料*, 83, 1-35.