

埋没土壌の加速器14C年代から知る噴火年代

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 奥野, 充 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/1523

埋没土壌の加速器¹⁴C年代から知る噴火年代

奥野 充

Eruption Age of Tephra Layer Inferred from AMS ¹⁴C Dates of Paleosol

Mitsuru OKUNO

Abstract

To establish the chronology of volcanic eruptions, AMS ¹⁴C dating mainly of soil samples closely relating to tephra layers were performed. This paper point out that non-disturbed fallout tephra layers can indicate good depositional conditions of the soil layers (e.g. continuity of soil accumulation, non-existence of bio-turbation), and can be a barrier to prevent movements of soil organic matter along the profile. The C/N ratio can be a promising indicator of the soil decomposition.

Key words : AMS ¹⁴C date, soil organic matter, fallout tephra, eruption age

I はじめに

過去におこった火山噴火は、その産物である堆積物と地形に記録されている。これらを読みとることにより組み立てられる火山の噴火史は、噴火メカニズムの解明や噴火災害の防止・軽減のための基礎資料となる。噴火年代は、層序学的調査と放射性同位元素を用いた年代測定によって知ることができる。Libby (1955) によって開発された¹⁴C年代測定法は、最近数万年間の試料を対象とする年代測定法の中では最も信頼できる方法の1つである。測定試料によく用いられる炭化木片は、火砕流堆積物の中に産するが、どこでも見つかるものではない。火砕流堆積物は、比較的厚く分布も限られているので層序学的研究にあまり適さない。また、火砕流堆積物中の炭化木片は、異質物質 (accidental material) として取り込まれるので、噴火によって試料の閉鎖系が成立したことを確認できない。降下テフラは、薄く広く分布するが、堆積時には冷却されているこ

とが多く、炭化木片はほとんど見られない。ところで、河川堆積物などによって比較的急速に埋没した土壌の¹⁴C年代は有効であるとされている (Orlova and Panychev, 1993)。テフラ直下の土壌も噴火当時の地表面がきわめて短期間に埋没したものであり、その¹⁴C年代は噴火年代を示しているものと期待される。埋没土壌はよく見られるので、知りたい層準の年代を測定することが可能である。筆者は、微量の炭素 (約 1 mg, β線計測法の約 1/1000) で測定可能な加速器質量分析 (AMS) 法を用いて、テフラ直下の土壌の¹⁴C年代の有効性について検討している (Okuno *et al.*, 1996)。本稿では、南九州の始良カルデラの最近3万年間のテフラに関連する¹⁴C年代値を示し、土壌試料の¹⁴C年代の有効性について考察する。

II 試料採取と前処理の手順

露頭では、テフラの保存状態から土壌攪乱の程度

を判断した。露頭の表面は、上位の層準の炭素によって汚染されている可能性がある。ねじり鎌を用いて十分に削り取った後、できるかぎり塊の状態(層厚約2cm)で土壌試料を採取した。

試料表面は採取時に汚染した可能性があるため、実験室において蒸留水により洗い流した。調製に供した土壌は30g程度である。植物細根などを取り除いた後、蒸留水中で超音波洗浄し、試料を分散させた。この中から開口径106 μ mのふるいを通過したものを用いて以下の操作を行った(奥野, 1995)。まず、1.2規定の塩酸(約2時間・2回)で炭酸塩を、1.2規定の水酸化ナトリウム水溶液(約1時間・1回)でアルカリ可溶物を除去した。さらに1.2規定の塩酸処理を行った後、蒸留水で繰り返し洗浄してフューミン画分を得た。フューミンの炭素および窒素含量をCNコーダー(柳本製, MT-700)により測定した。ヒューミン(炭素量約2mg)を酸化銅、還元銅および銀粉と共にバイコール管に真空封管し、約2時間950 $^{\circ}$ Cに加熱して生じた気体を真空ライン中で精製してCO₂を得た。一部の試料は、アルカリ抽出液をガラス繊維濾紙で濾過した後に濃塩酸を添加してpH1以下とし、沈殿したフミン酸(HA)を回収した。炭化木片は、酸-アルカリ-酸処理を行った。得られたHAと炭化木片を酸化銅と共に真空封入し、約2時間950 $^{\circ}$ Cに加熱して発生した気体を精製しCO₂を得た。これらのCO₂を用いて、Kitagawa *et al.* (1993)の水素還元法によりグラファイトターゲットを作製した。なお、CO₂の一部は分取して気体用質量分析計(Finnigan MAT社製, MAT-252)による $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 値の測定に供した。

調製したターゲットについて、名古屋大学年代測定資料研究センターのタンデム加速器質量分析計(Nakamura *et al.*, 1985; 中村・中井, 1988)により¹⁴C年代を測定した。¹⁴C濃度の標準体にはNBS 蔞酸(SRM-4990)を用いた。

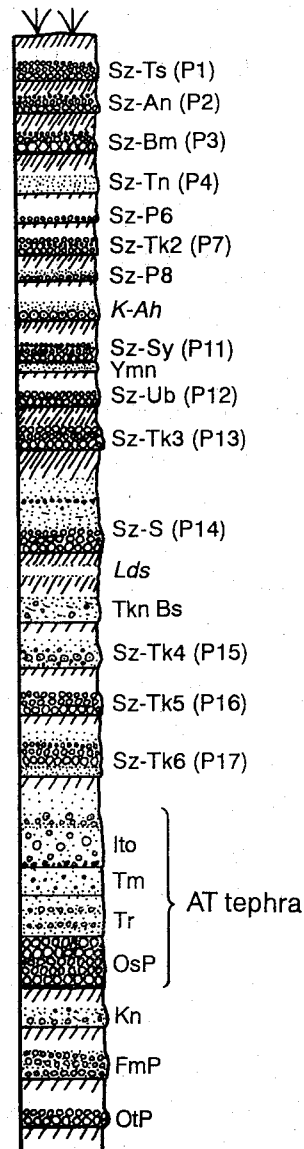


Fig. 1 Summary section of tephra layers for the past 30,000 years at northern Osumi Peninsula (not to scale).

Two types of symbols for each Sz tephra are cited (Kobayashi, 1986; Moriwaki, 1994), except for Sz-P6 and P8 (Kobayashi and Ezaki, 1996). The *K-Ah* is a co-ignimbrite ash fall deposit from Kikai caldera (Machida and Arai, 1978). The Ymn under the Sz-Sy (P11) is a scoria fall deposit from Yonemaru maar. The distinctive soil horizon (*Lds*) under the Sz-S (P14) is regarded as a loess-derived soil (Naruse *et al.*, 1994). The Tkn Bs is Takano base surge deposit erupted from Aira caldera (Kobayashi, 1986).

Table 1 AMS ^{14}C dates of the Sakurajima tephra group (modified from Okuno *et al.*, 1966b)

*Loc.	**Stratigraphic position	Material	C (%)	N (%)	C/N ratio	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰)	^{14}C date (yr BP)	Lab no. (NUTA)
8	Below Sz-An	Paleosol	11.15	0.44	25.2	-17.4	200 ± 70	4072
4	Below Sz-An	Paleosol	14.84	0.68	21.9	-22.5	220 ± 100	4135
11	Below Sz-An	Paleosol	9.82	0.35	27.8	-17.2	320 ± 70	3782
3	In Sz-Bm	Charcoal	—	—	—	-24.4	500 ± 70	4367
16	Below Sz-Bm	Paleosol	17.71	0.42	42.2	-22.1	670 ± 70	4357
14	Below Sz-Bm	Paleosol	18.19	0.67	27.2	-16.8	680 ± 70	4136
11	Below Sz-Bm	Paleosol	12.25	0.41	30.1	-15.2	930 ± 70	4073
8	Below Sz-Tn	Paleosol	1.61	0.11	14.3	-23.6	1000 ± 80	4079
7	Below Sz-Tn	Paleosol	1.75	0.09	20.0	-27.4	1160 ± 60	4009
4	Below Sz-Tn	Paleosol	0.31	n.d.	—	-25.0	1210 ± 90	4148
7	Below Sz-P6	Paleosol	1.29	0.16	8.2	-28.2	3430 ± 90	4399
12	Below Sz-Tk2	Charcoal	—	—	—	-29.1	4250 ± 70	4017
4	Below Sz-Tk2	Paleosol	0.45	n.d.	—	-26.7	4190 ± 70	4124
7	Below Sz-Tk2	Paleosol	0.35	0.03	11.2	-27.0	4250 ± 70	4008
10	Below Sz-Tk2	Paleosol	12.64	0.24	52.9	-22.7	4740 ± 90	4318
4	Below Sz-P8	Paleosol	0.76	0.10	7.4	-26.2	5690 ± 100	4398
11	Below K-Ah	Paleosol	1.27	0.11	12.0	-24.1	3940 ± 80	4078
10	Below K-Ah	Paleosol	2.49	n.d.	—	-22.9	6460 ± 90	4333
4	Below K-Ah	Paleosol	2.34	0.11	21.7	-16.5	6720 ± 80	4150
11	Below Sz-Sy	Paleosol	0.46	0.04	12.0	-25.3	6480 ± 80	3758
16	Below Sz-Sy	Paleosol	1.88	n.d.	—	-22.2	7740 ± 110	4237
15	Below Ynm	Charcoal	—	—	—	-27.0	7480 ± 80	4300
11	Below Sz-Ub	Paleosol	1.18	0.05	23.8	-20.7	7950 ± 80	3757
8	Below Sz-Ub	Charcoal	—	—	—	-26.0	8350 ± 70	3943
11	Above Sz-Tk3	Paleosol	3.05	0.19	16.1	-19.7	7770 ± 70	4080
5	Above Sz-Tk3	Paleosol	1.66	0.07	23.0	-19.7	8040 ± 80	3940
5	Below Sz-Tk3	Paleosol	8.07	0.26	31.5	-21.7	9240 ± 80	3875
9	Below Sz-Tk3	Paleosol	6.02	0.29	20.5	-21.9	9340 ± 90	4036
8	Below Sz-Tk3	Paleosol	5.99	0.18	32.8	-20.6	9400 ± 100	4235
8	Below Sz-Tk3	Charcoal	—	—	—	-26.8	9540 ± 90	4035
11	Below Sz-Tk3	Paleosol	5.08	0.14	36.0	-23.1	9890 ± 80	3756
2	In Sz-S	Charcoal	—	—	—	-23.8	10,670 ± 100	4634
							11,050 ± 120	4642
11	Below Sz-S	Paleosol	5.52	0.23	24.4	-22.7	10,910 ± 80	3874
5	Below Sz-S	Paleosol	3.56	0.15	23.1	-21.4	11,280 ± 80	3878
							11,330 ± 90	4025
9	Below Sz-S	Paleosol	2.16	0.10	21.0	-20.7	11,660 ± 100	3868
1	Below Sz-S	Paleosol	5.16	0.18	29.4	-19.5	11,850 ± 90	3561**
1	Below Sz-S	Paleosol,HA	—	—	—	-20.4	11,170 ± 80	3548**
1	1m below Sz-S	Paleosol	5.42	0.20	29.4	-21.3	12,110 ± 90	3595**
5	Below Lds	Paleosol	1.81	0.14	13.2	-22.2	14,520 ± 90	4356
13	Above Tkn Bs	Paleosol	0.91	0.07	12.7	-21.6	15,170 ± 160	4689

Ⅲ 大隅半島北部での最近3万年間のテフラ層序
大隅半島北部における最近3万年間のテフラ層序を Fig. 1 に示す。これらのテフラは、ほとんどが始良カルデラ起源である。約24,500 yr BP (池田ほか,

1995) には、大隅降下軽石 (OsP), 妻屋火砕流 (Tm), 入戸火砕流 (Ito) を噴出した巨大噴火がおこった (Kobayashi *et al.*, 1983; Aramaki, 1984; Nagaoka, 1988)。日本列島のほぼ全域を覆

Table 1 AMS ^{14}C dates of the Sakurajima tephra group (cont.)

*Loc.	**Stratigraphic position	Material	C (%)	N (%)	C/N ratio	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰)	^{14}C date (yr BP)	Lab no. (NUTA)
5	Above Sz-Tk4	Paleosol	2.65	0.12	22.7	-25.1	17,910±110	4350
9	In Sz-Tk4	Charcoal	—	—	—	(-25)	21,260±200	4323
5	Below Sz-Tk4	Paleosol	1.43	0.09	15.7	-23.4	20,490±150	3869
9	Below Sz-Tk4	Paleosol	0.61	n.d.	—	-21.1	23,390±160	4397
6	Below Sz-Tk5	Paleosol	0.44	0.05	8.3	-21.1	17,640±90	3937
6	In Sz-Tk6	Charcoal	—	—	—	-25.3	22,610±140	3938
9	Below Sz-Tk6	Paleosol	1.97	0.09	22.1	-20.3	21,130±170 21,240±120	3788 3755

* 1 : Kagoshima Univ. (Shimoarata camp.), 2 : Yoshino, 3 : Kurokami River, 4 : Forestry road of Kagoshima Univ. (Takatoge entrance), 5 : Takatoge south, 6 : Forestry road of Kagoshima Univ., 7 : Dakeno north, 8 : Dakeno south, 9 : Kamifuruzono, 10 : Harabeppu, 11 : Uwaba Park, 12 : Maetoko Archaeological Site, 13 : Fukaminato, 14 : Makinohara, 15 : Fujibeizakadan Archaeological Site, 16 : Goma

** See Fig. 1

$\delta^{13}\text{C}$ value in parenthesis is assumed

Data from Okuno *et al.* (1996a)

Table 2 AMS ^{14}C dates of the Aira Tn tephra (AT)

*Loc.	**Stratigraphic position	Material	C (%)	N (%)	C/N ratio	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰)	^{14}C date (yr BP)	Lab no. (NUTA)
6	In Ito	Charcoal	—	—	—	-24.4	24,240±250	2563*
2	In Ito	Wood	—	—	—	-25.7	24,270±210	4635
1	In Tm	Charcoal	—	—	—	-25.1	24,780±200	4299
4	In Tr	Charcoal	—	—	—	-25.3	24,710±170	4017
5	In OsP	Charcoal	—	—	—	-24.3	24,790±350	2564*
3	Below OsP	Paleosol	1.43	0.08	17.3	-17.3	25,710±330	4682
3	Below OsP	Paleosol,HA	—	—	—	-17.4	24,400±160	4828

* 1 : Aira I.C., 2 : Koyamada, 3 : Fukaminato, 4 : Uratan, 5 : Takasu, 6 : Sakoma

** See Fig. 1

Data from Ikeda *et al.* (1995)

う始良 Tn 火山灰は、入戸火砕流ともなる降下火山灰である (町田・新井, 1976)。この一連の噴火による火砕堆積物をまとめて始良 Tn テフラ (AT) とよぶ (町田・新井, 1992)。AT テフラの下位には、大塚 (OtP), 深港 (FmP), 毛梨野 (Kn) の3枚の始良カルデラ起源のテフラが認められる (Nagaoka, 1988)。桜島火山は、AT テフラの噴出以降に成長した後カルデラ丘で (福山, 1978), カルデラ南縁に位置する。桜島起源の軽石層は、小林 (1986) により17層 (P1~P17) 識別され、大隅半島に分布するものは、森脇 (1994) により模式地

が設定されている。地表から4層は、大正 (1914年), 安永 (1779年), 文明 (1471年), 天平 (764年) の噴火記録に対応 (福山, 1978; 小林, 1982)。

IV 結果と考察

^{14}C 年代値を Table 1~Table 3に示す。年代値は西暦1950年から遡った年数で、その算出には Libby の半減期5568年を用いた。試料の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 値を用いて同位体分別効果を補正した (中村ほか, 1994)。測定誤差は、 ^{14}C の計数誤差にもとづいて1標準偏差 (1 σ) で示した。歴史時代のテフラの年代

Table 3 AMS ^{14}C dates of pre-AT tephras

*Loc.	**Stratigraphic position	Material	C (%)	N (%)	C/N ratio	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰)	^{14}C date (yr BP)	Lab no. (NUTA)
1	Below Kn	Paleosol	0.35	0.05	7.1	-20.3	25,280 ± 210	4511
2	Below Kn	Paleosol	0.36	0.05	7.1	-16.0	25,350 ± 180	4875
1	Below FmP	Paleosol	0.33	0.06	5.6	-19.8	23,600 ± 200	4504
2	Below FmP	Paleosol	0.35	n.d.	—	-21.6	26,400 ± 210	4894
4	Below FmP	Paleosol	0.17	0.02	7.8	-19.5	26,350 ± 250	4837
4	Below FmP	Paleosol,HA	—	—	—	-19.5	27,880 ± 210	4830
3	Below FmP	Paleosol	1.02	0.06	16.5	-19.1	29,400 ± 330	4681
4	Below OtP	Paleosol	0.53	0.06	9.4	-21.4	27,990 ± 270	4836
4	Below OtP	Paleosol,HA	—	—	—	-22.2	29,060 ± 230	4829
1	Below OtP	Paleosol	0.91	0.09	9.8	-20.6	29,830 ± 290	4505

* 1 : Tsumaya, 2 : Kenashino, 3 : Fukaminato, 4 : Ukitsu

** See Fig. 1

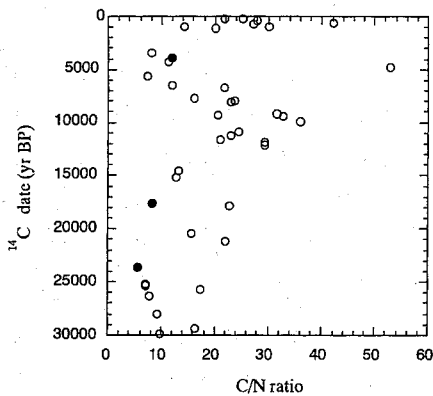


Fig. 2 Relation of ^{14}C date and C/N ratio of paleosol samples (humins fraction). Solid circles represent unacceptable dates which are younger than those inferred from their stratigraphic positions. Data are cited in Tables 1~3.

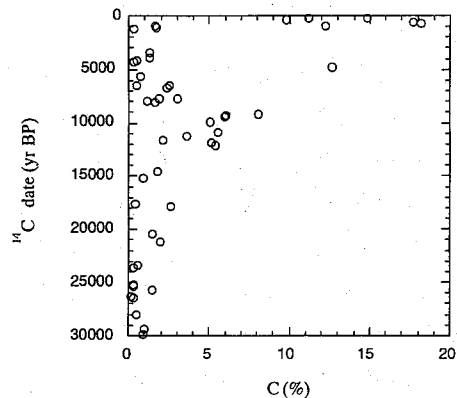


Fig. 3 Relation of ^{14}C date and C % of paleosol samples (humins fraction). Data are cited in Tables 1~3.

値は、Pearson and Qua (1993) の樹輪較正曲線を用いた CalibETH (Niklaus, 1991; Niklaus *et al.*, 1992) によって暦年代に較正した (Table 4)。得られた年代値は、下位のものほど古くなり層準ごとでほぼ揃うことから、そのほとんどは妥当なものと考えられる。また、フラクションによって ^{14}C 年代値は誤差範囲以上にばらつくが、その差に明瞭な傾向はみられない (NUTA-3561 と 3548, Table 1/NUTA-4682 と 4828, Table 2/NUTA-4837 と 4830, NUTA-4836 と 4829, Table 3)。

土壌試料(ヒューミン)の炭素/窒素比(C/N比)と ^{14}C 年代値の関係を第2図に示す。C/N比は5~53の範囲にあり、年代が古くなるほど高いものがなくなる傾向が認められる。鬼界籠港テフラ群(奥野ほか, 1995)と同様に、ヒューミンのC/N比が10に近いものに層位と比較して若い値を示すことがある (NUTA-4078, 3987, Table 1/NUTA-4504, Table 3)。この年代値の若返りは、C/N比から判断して、未分解の植生ではなく土壤中の微生物に由来した若い炭素の混入が原因であると考えら

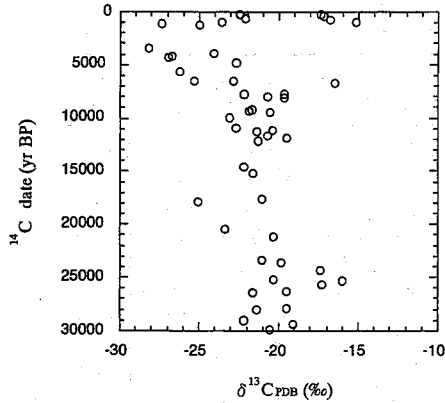


Fig. 4 Relation of ^{14}C date and $\delta^{13}\text{C}$ value of humin and humic acid fractions of paleosol samples around Aira caldera. Data are cited in Tables 1~3.

れる。ただし、C/N比が10に近いものがすべて若返っているわけではない (Fig. 2)。ヒューミンの炭素含量 (C%) と ^{14}C 年代値の関係を Fig. 3 に示す。炭素含量は0.1~20%の範囲にあり、C/N比と同様に年代が古くなるほど高いものなくなる傾向がみられる。土壌試料 (ヒューミンとフミン酸) の $\delta^{13}\text{C}$ C値と ^{14}C 年代値の関係を Fig. 4 に示す。 $\delta^{13}\text{C}$ 値は、明らかな年代との関係はみられないが、古くなるにしたがって-21‰付近に収束していくようにもみえる。土壌試料の $\delta^{13}\text{C}$ 値の頻度分布を Fig. 5 に示す。 $\delta^{13}\text{C}$ 値は-21‰付近をピークとして、-17~-29‰と約12‰の変動幅をもっている。

Sz-Tk3 (P13) 直上とSz-Ub (P12) の直下の年代値はほぼ8000 yr BPであり (Table 1), Sz-Tk3とSz-Ubに挟まれた土壌層 (厚さ40cm) の最上部と最下部で年代値に差は認められない。一方、Sz-Tk3直下の土壌の年代値は9300~9900 yr BPで (Table 1), 直上の年代値と有意に異なる。このことは、テフラの堆積によって埋没した土壌が閉鎖系になり、現在までその状態が維持されていたことを示す。ただし、土壌の堆積状態によっては下位の古い有機物の影響が無視できなくなり、層位と比較してやや古い年代値が得られることがある。例え

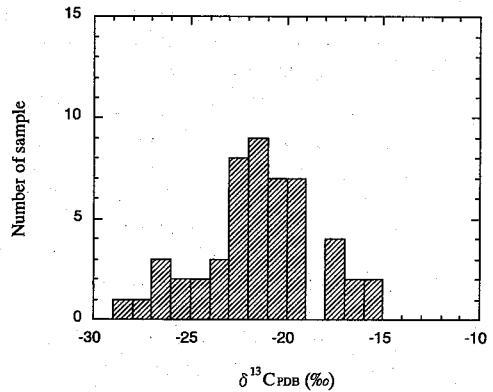


Fig. 5 Frequency distribution of $\delta^{13}\text{C}$ values of paleosol. Data are cited in Tables 1~3.

ば、上場公園のSz-Bm (P3)直下の 930 ± 70 yr BP (NUTA-4073) を較正した暦年代は1032-1171年で (Table 4), 古記録から推定される年代 (1471年) より400年ほど古い。ここにはSz-Tn (P4) が分布せず、その下位のSz-Tk2 (P7) も分布域であるがみられない。このことは、Sz-Tk2の前後に風成層 (テフラ/土壌) が連続的に堆積しなかったことを示しており、下位の土壌に由来した古い有機物が混入した可能性が考えられる。

土壌の ^{14}C 年代値の分解能はテフラの降下頻度に依存していると考えられる。噴火年代をより精度高く知るためには、高頻度でテフラが堆積している露頭から試料 (土壌) を採取する必要がある。

V おわりに

本稿では、始良カルデラの最近3万年間のテフラに関連する ^{14}C 年代値から、土壌試料の ^{14}C 年代の有効性について考察した。その結果、得られた年代値はテフラ層序とはほぼ調和的で、テフラの直下と直上では年代値が異なることから、テフラの堆積によって土壌の閉鎖系が成立し、現在まで維持されたものと考えられた。土壌試料のC/N比は年代値の信頼度を評価する指標の1つになると考えられた。なお、

Table 4 Calibrated ^{14}C dates for historical eruptions of the Sakurajima volcano

*Historical date	Material	^{14}C date (yr BP)	Cal range AD/probability (%)	Lab no. (NUTA)
An-ei (AD1779)	Paleosol	200 ± 70	1652-1687 (25.3) 1732-1827 (74.7)	4072
An-ei (AD1779)	Paleosol	220 ± 100	1522-1553 (12.7) 1638-1689 (27.3) 1725-1841 (60.0)	4135
An-ei (AD1779)	Paleosol	320 ± 70	1481-1567 (59.0) 1578-1606 (17.4) 1620-1656 (23.6)	3782
Bunmei (AD1471)	Charcoal	500 ± 70	1310-1335 (14.4) 1393-1472 (85.6)	4367
Bunmei (AD1471)	Paleosol	670 ± 70	1282-1313 (32.2) 1334-1394 (67.8)	4357
Bunmei (AD1471)	Paleosol	680 ± 70	1275-1310 (36.1) 1335-1393 (63.9)	4136
Bunmei (AD1471)	Paleosol	930 ± 70	1032-1171 (100.0)	4073
Tenpyo (AD764)	Paleosol	1000 ± 80	972-1060 (54.8) 1076-1129 (28.4) 1131-1161 (16.8)	4079
Tenpyo (AD764)	Paleosol	1160 ± 60	821-846 (15.3) 851-967 (84.7)	4009
Tenpyo (AD764)	Paleosol	1210 ± 90	712-749 (16.3) 751-898 (76.0) 917-926 (3.8) 948-957 (3.9)	4148

* Based on historical documents

始良カルデラの噴火史の詳細は、別稿で報告する予定である。

謝 辞

本稿は、名古屋大学大学院人間情報学研究科に提出した筆者の学位請求論文の一部である。議論に用いたデータは、中村俊夫（名古屋大）、小林哲夫（鹿児島大）、森脇 広（鹿児島大）、成尾英仁（鹿児島県博）、長岡信治（長崎大）の各氏との共同研究によるものである。この研究は、筆者の金沢大学大学院文学研究科における修士論文がきっかけとなっている。その際、守屋以智雄教授をはじめ地理学教室の皆様には種々のご助言をいただいた。とくに、今春、

金沢大学を退官される川崎茂教授には数多くの励ましの言葉をいただいた。川崎教授に本稿を献呈し、感謝の意を表します。なお、この研究には、文部省科学研究費補助金（特別研究奨励費、600002051）を使用した。

（名古屋大学大学院人間情報学研究科，日本学術振興会特別研究員）

引用文献

- 池田晃子・奥野 充・中村俊夫・筒井正明・小林哲夫（1995）：南九州，始良カルデラ起源の大隅降下軽石と入戸火砕流の炭化樹木の加速器質量分析法による ^{14}C 年代。第四紀研究，34，377-379。
奥野 充（1995）：古土壌の加速器 ^{14}C 年代による噴

- 火年代の推定. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, VI, 43-53.
- 奥野 充・中村俊夫・新井房夫・森脇 広・小林哲夫 (1995) : 古土壌の ^{14}C 年代からみた鬼界籠港テフラ群の噴火年代. 日本地理学会予稿集, 48, 228-229.
- 奥野 充・中村俊夫・横田修一郎 (1996 a) : 鹿児島沖積平野におけるボーリング・コア試料の加速器 ^{14}C 年代. 地球科学, 50, 70-74.
- 小林哲夫 (1982) : 桜島火山の地質: これまでの研究成果と今後の課題. 火山, 27, 277-292.
- 小林哲夫 (1986) : 桜島火山の形成史と火砕流. 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」(代表者荒牧重雄) 報告書, 137-163.
- 小林哲夫・江崎真美子 (1996) : 桜島火山の噴火史. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, VII, 70-81.
- 中村俊夫・中井信之 (1988) : 放射性炭素年代測定法の基礎 — 加速器質量分析法に重点をおいて —. 地質学論集, 29, 83-106.
- 中村俊夫・池田晃子・小田寛貴 (1994) : タンデトロ加速器質量分析計による ^{14}C 測定における炭素同位体分別の補正について — ^{14}C 年代算出の手引き—. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, V, 237-243.
- 成瀬敏郎・横山勝三・柳 精司 (1994) : シラス台地上のレス質土壌とその堆積環境. 地理科学, 49, 76-84.
- 福山博之 (1978) : 桜島火山の地質. 地質学雑誌, 84, 309-316.
- 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.
- 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 (1992) : 『火山灰アトラス — 日本列島とその周辺』, 東京大学出版会, 276p.
- 森脇 広 (1994) : 桜島テフラ層序・分布と細粒火山灰の層位. 文部省科学研究費 (一般研究C), 研究成果報告書「鹿児島湾周辺における第四紀後期の細粒火山灰層に関する古環境学的研究」, 1-20.
- Aramaki, S. (1984) : Formation of the Aira caldera, Southern Kyushu, 22,000 years ago. *Jour. Geophys. Res.*, 89, 8485-8501.
- Kitagawa, H., Masuzawa, T., Nakamura, T. and Matsumoto, E. (1993) : A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS ^{14}C measurements. *Radiocarbon*, 35, 295-300.
- Kobayashi, T., Hayakawa, Y. and Aramaki, S. (1983) : Thickness and grain-size distribution of the Osumi pumice fall deposit from the Aira caldera. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, 28, 129-139.
- Libby, W.F. (1955) : *Radiocarbon dating*. Univ. Chicago Press, Chicago, 175p.
- Nagaoka, S. (1988) : The late Quaternary tephra layers from caldera volcanoes in and around Kagoshima Bay, southern Kyushu, Japan. *Geogra. Rep. Tokyo Metro. Univ.*, 23, 49-122.
- Nakamura, T., Nakai, N., Sakase, T., Kimura, M., Ohishi, S. Taniguchi, M. and Yoshioka, S. (1985) : Direct detection of radiocarbon using accelerator techniques and its application to age measurements. *Japan Jour. Appl. Phys.*, 24, 1716-1723.
- Niklaus, T.R. (1991) : CalibETH 1.5b, Program for calibration of radiocarbon dates (Institute of Intermediate Energy Physics, ETH, Zürich, Switzerland).
- Niklaus, T.R., Bonani, G., Simonius, M. Suter, M. and Wolfli, W. (1992) : CalibETH : an interactive computer program for the calibration of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 34, 483-492.
- Okuno, M., Nakamura, T., Moriwaki, H. and Kobayashi, T. (1996b) : AMS radiocarbon dating of the Sakurajima tephra group, southern Kyushu, Japan. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, in press.
- Orlova, L.A. and Panychev, V.A. (1993) : The reliability of radiocarbon dating buried soils. *Radiocarbon*, 35, 369-377.
- Pearson, G.W. and Qua, F. (1993) : High-precision ^{14}C measurement of Irish oak to show the natural ^{14}C variations from AD 1840 to 5000 BC. *Radiocarbon*, 35, 105-124.