

九重火山の飯田火砕流堆積物に関連する試料の 加速器¹⁴C年代

奥野 充¹・中村俊夫²・鎌田浩毅³・小野晃司⁴・星住英夫⁵

AMS ¹⁴C dates related to the Handa pyroclastic-flow deposit from Kuju volcano, Japan

Mitsuru OKUNO¹, Toshio NAKAMURA², Hiroki KAMATA³, Koji ONO⁴
and Hideo HOSHIZUMI⁵

- 1 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），〒464-01 名古屋市千種区不老町
Graduate Student (JSPS Research Fellow), Graduate School of Human Informatics, Nagoya University,
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-01, Japan.
- 2 名古屋大学年代測定資料研究センター，〒464-01 名古屋市千種区不老町
Dating and Materials Research Center, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-01, Japan.
- 3 地質調査所大阪地域地質センター，〒540 大阪府中央区大手前4-1-67
Geological Survey of Japan, Osaka Center, 4-1-67 Otemae, Chuo-ku, Osaka 540, Japan.
- 4 応用地質（株），〒102 東京都千代田区九段北4-2-6
OYO Corporation, 4-2-6 Kudan-kita, Chiyoda-ku, Tokyo 102, Japan.
- 5 地質調査所地質部，〒305 茨城県つくば市東1-1-3
Geological Survey of Japan, 1-1-3 Higashi, Tsukuba 305, Japan.

1. はじめに

九重火山は、阿蘇火山の北東、由布・鶴見火山群の南西にあり、中部九州の豊肥火山地域の中でも最も新しい火山活動が記録されている第四紀火山の一つである（小野，1963；Kamata，1989）。九重火山は溶岩ドームの形成とプリニー式軽石および火砕流の噴出を約1.5万年前から繰り返している（Kamata and Kobayashi，印刷中）。1995年10月11日に九重火山の中央部に位置する星生山の東北東中腹から火山灰を噴出したこと（鎌田・千葉，1995など）から、九重火山の噴火履歴がにわかに注目を集めている。九重火山の完新世の噴火史は、小林・池辺（1985）および太田（1991）の九重火山東半部でのテフクロノロジーや、鎌田（1991）およびKamata and Kobayashi（投稿中）の九重火山全域でのテフクロノロジーと腐植質土壌の¹⁴C年代測定などにより明らかになっている。一方、小野ほか（1977）は、九重火山南東方の火砕流堆積物の層序を検討し、九重火山起源の比較的大規模な火砕流堆積物として、上位より飯田火砕流、下坂田火砕流、宮城火

砕流の3枚の火砕流堆積物を認め、阿蘇火山起源の火砕流堆積物との層位関係をそれぞれ明らかにした。このうちの飯田火砕流堆積物（以下、堆積物を省略）は、九重火山の北・西・南麓に広く分布し、阿蘇-4火砕流の噴火ステージの堆積物の上位に位置している（小野ほか，1977；鎌田，1997）。飯田火砕流についての放射年代は、これまでいくつか報告されている。 ^{14}C 法では飯田火砕流中の炭化木片を試料として $>32,300$ yr BP（Gak-2267：松本ほか，1970）， $23,030 \pm 1,170$ yr BP（Gak-8428：町田，1980）の年代値が、 ^{238}U - ^{230}Th 法では飯田火砕流中の苦鉄質鉱物（普通角閃石，磁鉄鉱）について $3.5 \pm 8\text{ka}$ の年代値（大村ほか，1988）が報告されている。しかしながら、飯田火砕流の噴出年代は確定的なものではない。今回筆者らは、加速器質量分析（AMS）法を適用して、飯田火砕流中の炭化木片および直下の腐植質土壌の ^{14}C 年代を測定した。本稿ではその結果を報告し、飯田火砕流の噴出年代を考察する。

2. 飯田火砕流の概略

飯田火砕流は、普通角閃石を含むデイサイト質軽石を本質物質とする軽石流堆積物であり（小野ほか，1977），阿蘇-4Aおよび阿蘇-4B火砕流を土壌を挟んで覆い、始良Tn（AT）火山灰に土壌を挟んで覆われる（鎌田，1997）。飯田火砕流はほとんど非溶結であるが、その上部に弱い柱状節理の発達認められる場合があり、軽微な溶結が行われたことを示している。軽石は白～淡灰色で、ときに径15cm程度のものも含まれるが一般には径数cm以下で、円味を帯びている。発泡度はやや良く（見かけ比重が1以下）、一般に長孔状の気泡をもつ。長さ数mmの黒色で光沢のある普通角閃石斑晶を含む。しばしば灰色粗粒砂岩状のオートリスを伴う。石質破片は普通角閃石安山岩が多く、輝石安山岩も少量含まれる。この火砕流の噴出源は、軽石および岩片の覆瓦構造から、九重火山溶岩ドーム群の中心部（星生山・三俣山・久住山の周辺）に求められている（鎌田・三村，1991；Kamata and Mimura，1983）。この火砕流の最大層厚は約200mである。現存分布面積は、約 60km^2 、現存体積は約 2km^3 である。河谷により削られた部分を補うと、推定分布面積は約 150km^2 、推定体積は約 5km^3 と見積られる（鎌田，1997）。九重第1軽石層（Kj-P1）は、飯田火砕流の噴出に伴うプリニー式降下軽石である。町田（1980）は、AT火山灰と阿蘇-4火砕流との層位関係から、その噴出年代を35～30kaと推定している。

3. 測定試料

試料採取地点をFig.1に示す。試料を採取した2地点はどちらも人工露頭である。測定試料は炭化木片が3点と腐植質土壌が1点である。いずれの試料も現代の植物細根の混入は認められない。

試料A-1, A-2および試料Bは, 久住町寺原南方のLoc.1 (北緯33°0'31", 東経131°15'2")で採取された. この露頭での飯田火砕流は厚さ10m以上の非溶結の軽石流堆積物で, 厚さ130cmの腐植質土壌を挟んで非溶結の軽石流堆積物である阿蘇-4A火砕流を覆っている. ここでは飯田火砕流直下にKj-P1はみられない. 試料A-1およびA-2は, どちらも炭化木片で年輪が認められる. 試料A-1は, 直径15cm, 長さ20cm以上で, 飯田火砕流の基底から約50cm上から採取された. 試料A-2は, 直径6cm, 長さ10cm以上で, 飯田火砕流の基底部から採取された. Loc.1では試料A-2のほかにもこの火砕流の基底部に炭化木片が多数産出している. 試料Bは, 飯田火砕流の下位の腐植質土壌の最上部2cmを採取したものである.

試料Cは, 竹田市下坂田のLoc.2 (北緯32°58'57", 東経 131°19'55")の飯田火砕流中の炭化木片で, 直径20cm, 長さ200cm以上で年輪が認められた. Loc.2では, 下位より弱溶結スコリア流堆積物である阿蘇-3B火砕流 (厚さ3m以上), 中～弱溶結軽石流堆積物である阿蘇-4A火砕流 (厚さ8m以上), 飯田火砕流 (厚さ8m以上) がみられる. ここでも直下にKj-P1はない.

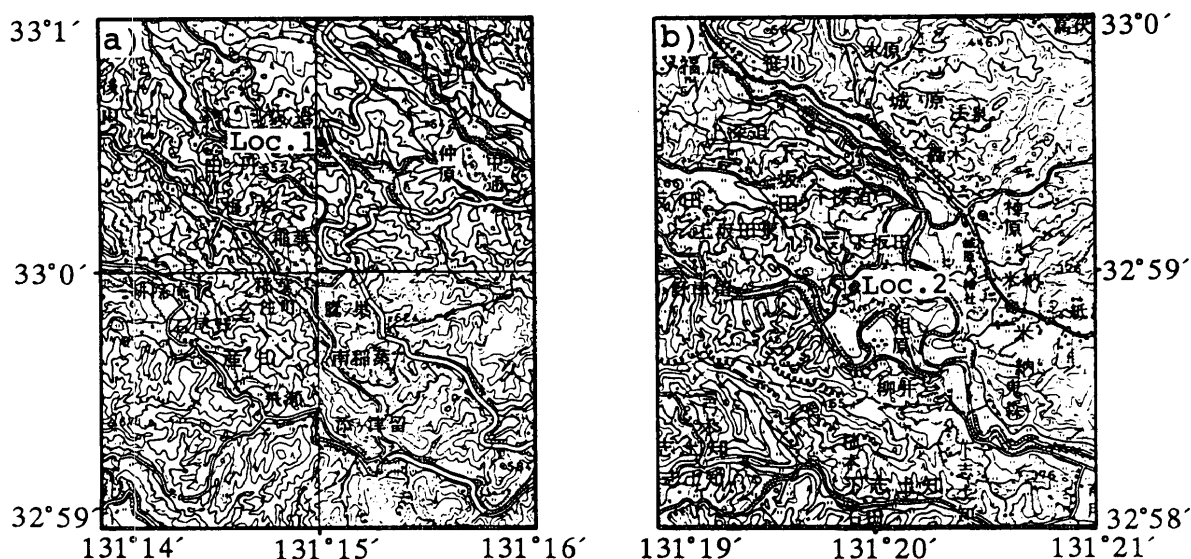


Fig. 1 Locality of the analyzed samples.

a) Loc. 1 (33°0'31"N, 131°15'2"E): Samples A-1, A-2, and B

b) Loc. 2 (32°58'57"N, 131°19'55"E): Sample C

Using the topographic maps of "Miyano haru, Kuju, Asosan and Taketa" for (a) and "Taketa" for (b) at 1:50,000 in scale, published from Geographical Survey Institute.

4. 試料調製と¹⁴C年代測定

試料の調製操作は, 中村・中井 (1988) にもとづいた. 炭化木片 (試料A-1, 試料A-2および試料C) は, 分取した約20gを蒸留水中で超音波洗浄して火山灰などの付着物を取り除いた. 次に 1.2規定の塩酸 (HCl) による処理 (80°Cで2時間) を2回行い, 炭酸塩などを除去した. さらに1.2規定の水酸化ナトリウム (NaOH) 溶液処理 (80°Cで2時間) を抽出液の着色がなくなるまで繰り返し,

アルカリ可溶成分を除去した。ただし、試料A-1は保存状態が悪いためかNaOH溶液にほとんどが溶けてしまったため、この処理を1回で止めた。さらに1.2規定のHCl処理を2回行った後、蒸留水により十分に洗浄した。これらを原子比でほぼ等量の銀粉と混合し、手動の圧縮装置によりプレスしてAg-Cターゲットを作製した。

試料B（腐植質土壌）は、塊状の試料表面を蒸留水により洗浄し、これを蒸留水中で超音波洗浄して分散させた後、開口径106 μ mのふるいを通したものをを用いて、以下の処理を行った。まず1.2規定のHCl処理を2回行った後、1.2規定のNaOH溶液処理を1回行った。さらに1.2規定のHCl処理を2回行い、蒸留水で十分に洗浄した。この試料（炭素量として約2mg）を、酸化銅と共にバイコール管に真空封入し、約2時間950 $^{\circ}$ Cに加熱し生じた気体を真空ライン中で精製して二酸化炭素（CO₂）を得た。このCO₂からKitagawa *et al.* (1993) の水素還元法によりグラファイトを得た。これを手動圧縮装置でプレスし、グラファイトターゲットを作製した。

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トロン加速器質量分析計（Nakamura *et al.*, 1985；中村・中井, 1988）により¹⁴C年代を測定した。¹⁴C濃度の標準体としては、国際的に用いられている標準体NBS 蔞酸 SRM-4990を用いた。前処理を施した試料の有機炭素および有機窒素含量をCNコーダー（柳本製, MT-700）を用いて測定した。試料Bは得られたCO₂の一部を、試料A-1、試料A-2および試料Cは試料Bと同様の方法で得たCO₂を用いて、 $\delta^{13}\text{C}$ 値をトリプルコレクター式気体用質量分析計（Finnigan MAT 社製, MAT-252）により測定した。

5. 測定結果とその考察

測定結果をTable 1に示す。¹⁴C年代値は、国際的に用いられている Libby の半減期5568年を用いて算出し、西暦1950年から遡った年数で示した。なお、誤差は¹⁴Cの計数誤差にもとづいて1標準偏差で示した。また、試料の $\delta^{13}\text{C}$ 値を用いて同位体分別効果に対する補正を行った。今回のような年代の古い試料の測定では、加速器質量分析計による¹⁴C計数のバックグラウンド・レベルに注意する必要がある。黒鉛試料を用いてこれを調べた（中村・中井, 1991）。黒鉛は、石炭起源の炭素を原料として工業的に合成されたもので、炭素としての年代は十分に古く¹⁴Cを全く含まないと考えられる。名古屋大学の加速器質量分析計の¹⁴Cバックグラウンド・レベルは、自動試料交換装置の導入（1991年）以前では、¹⁴C年代値に換算して62,850~72,570 yr BP（平均値 66,340 yr BP）であったが、その後は約46,000 yr BP と高くなっている（中村ほか, 1993）。今回の試料測定期間における黒鉛（DG1~4）の¹⁴Cバックグラウンド・レベルは、 $R_{\text{sample}}/R_{\text{AD1950}}$ 比で 0.004764~0.005989（平均値 0.005230 \pm

0.000320) で、年代値に換算すると 41,110~42,950 yr BP に相当している (Table 1). Loc.1の試料A-1, 試料A-2および試料Bの測定値は, $R_{\text{sample}}/R_{\text{AD1950}}$ 比で0.006564~0.008533 とどれも ^{14}C バックグラウンド・レベルに近い値を示している. したがって, これらの測定値は, 年代値の上限を示している (すなわち, 真の年代はこれよりも古い) と考え, ^{14}C 年代測定の結果として, 試料A-1は >39,180 yr BP (NUTA-4352), >38,270 yr BP (NUTA-4628), 試料A-2は >40,370 yr BP (NUTA-4627), 試料Bは >40,140 yr BP (NUTA-4470) と表示する (Table 1). 一方, Loc.2の試料Cは, $31,910 \pm 560$ yr BP (NUTA-4283) で, Loc.1の試料の年代値と有意な差が認められる. 試料Cの炭化木片は, NaOH溶液による加熱処理にも溶解残ったことから, その保存状態は良好で埋積・炭化後に付加された有機物も十分に除去できたものと考えられる. すなわち, 32kaの年代値は, 若い炭素の汚染による若返りとは考えにくい. 試料A-1の炭化木片は, NaOH溶液処理を1回で止めたため, 埋積後に付加された有機物を十分に除去できていない可能性がある. しかし, 試料A-1の年代値はNaOH溶液処理で十分に溶解残り汚染を十分に除去できた試料A-2の年代値 (>40,370 yr BP) とほぼ同様な値が得られていることから, 若い炭素からの汚染の可能性は低いと判断される.

Table 1 AMS ^{14}C dates related to the Handa pyroclastic-flow deposit

Sample	^{13}C Locality	Material	C (%)	N (%)	C/N ratio	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰)	$\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{AD1950}}}$	$^{2\sigma}$ Error (1 σ)	^{14}C date (yr BP)	Lab no. (NUTA-)
A-1	1	Charcoal	53.28	0.58	91.7	-25.3	0.007619 ± 0.000588	> 39,180	4352	
							0.008533 ± 0.002282	> 38,270	4628	
A-2	1	Charcoal	59.60	n.d.	—	-25.1	0.006564 ± 0.000750	> 40,370	4627	
B	1	Humic soil	1.80	0.11	17.1	-19.6	0.006758 ± 0.000512	> 40,140	4470	
C	2	Charcoal	67.05	0.89	76.1	-24.5	0.018837 ± 0.001311	$31,910 \pm 560$	4283	
DG1	—	Graphite				-23.7	0.005989 ± 0.000707	> 41,110	4284	
DG2	—	Graphite				-23.7	0.004764 ± 0.000606	> 42,950	4353	
DG3	—	Graphite				-23.7	0.005357 ± 0.000629	> 42,010	4471	
DG4	—	Graphite				-23.7	0.004811 ± 0.000613	> 42,870	4629	

1) See Fig.1

2) Based on statistical ^{14}C -counting errors and given as one standard deviation (one sigma).

3) The Libby's ^{14}C half life of 5568 years is used, 0 yr BP corresponds to AD 1950

既述のように, 町田 (1980) はKj-P1の噴出年代を35~30kaと推定している. 最近のAMS法による ^{14}C 年代測定や酸素同位体比層序にもとづく年代 (町田・新井, 1992, 1994) では, AT火山灰が25ka, 阿蘇-4火砕流が90kaとされている. これらの年代値を新たに採用し, 町田 (1980) の示した層位 (ローム層の厚さ) で比例配分すると, Kj-P1の噴出年代は約50kaと推定される. この噴出年代は, Loc.1の4つの年代値 (>約40ka) と調和的である. したがって, 本報告では, 飯田火砕流の ^{14}C 年代として>約40kaを採用する. 九重火山の南麓における野外調査では, 阿蘇-4火砕流の上位のよく発泡した軽石を含むデイサイト質火砕流は, 飯

田火砕流のみが認められている（小野ほか，1977；鎌田，1997）。今回得られた約40ka以上という年代値はこの飯田火砕流の噴出年代を示すものと考えられるが，試料Cの32kaの年代値は飯田火砕流の噴出後に同質の小規模の火砕流が噴出した可能性を示唆する。今後飯田火砕流と類似した火砕流が複数存在するかどうかについて，野外調査と年代測定をさらに行う必要がある。

謝辞 Loc.1の2試料（試料A-1と試料B）は，第四紀学会テフラ研究委員会野外集會「中部九州のテフロクロノロジー」において採取したものである。この研究には，文部省科学研究費補助金・特別研究員奨励費（課題番号2051）の一部を使用した。記して感謝の意を表します。

引用文献

- Kamata, H. (1989) Volcanic and structural history of the Hohi volcanic zone, central Kyushu, Japan. *Bull. Volcanol.*, **51**, 315-332.
- 鎌田浩毅 (1991) テフラの¹⁴C年代により明らかにされた九重火山の噴火史. 日本火山学会講演予稿集, 1991-No.2, 71.
- 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 (印刷中).
- 鎌田浩毅・千葉達朗 (1995) 1995年10月の九重火山硫黄山の噴火 (口絵). 地質雑, **101**, XXXXIII-XXXVI.
- Kamata, H. and Kobayashi, T. (1997) The eruptive rate and history of Kuju volcano in Japan during the the past 15,000 years. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* (in press).
- 鎌田浩毅・三村弘二 (1981) インブリケーションから推定される九重火山飯田火砕流の流動方向. 火山, **26**, 281-292.
- Kamata, H. and Mimura, K. (1983) Flow directions inferred from imbrication in the Handa pyroclastic flow deposit in Japan. *Bull. Volcanol.*, **46**, 277-282.
- Kitagawa, H., Masuzawa, T., Nakamura, T. and Matsumoto, E. (1993) A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS ¹⁴C measurements. *Radiocarbon*, **35**, 295-300.
- 小林哲夫・池辺浩司 (1985) 九重火山東部の地質 (演旨). 火山, **30**, 310.
- 町田 洋 (1980) 岩戸遺跡のテフラ (火山灰). 「大分県岩戸遺跡」-大分県清川村岩戸における後期旧石器文化の研究, 広雅堂書店, 443-453.
- 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, 東京, 276p.
- 町田 洋・新井房夫 (1994) 時間指標テフラ阿蘇3によって示唆される最終間氷

- 期直後5d期の海面低下. 地学雑, **103**, 749-759.
- 松本 徂夫・林 正雄・山崎達雄 (1970) 九重火山飯田軽石流の¹⁴C年代. 地球科学, **24**, 190-191.
- 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・中井信之 (1991) 加速器法による4万年前より古い試料の¹⁴C年代測定についての検討. 堆積学研究会報, **34**, 27-32.
- 中村俊夫・池田晃子・太田友子 (1993) 名古屋大学タンデトロン加速器質量分析計による¹⁴C測定と共同利用の現状 (1992年度). 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (IV), 110-126.
- 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. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **24**, 1716-1723.
- 大村明雄・河合貞行・玉生志郎 (1988) ²³⁸U - ²³⁰Th放射非平衡系による火山噴出物の年代測定. 地調月報, **39**, 559-572.
- 太田岳洋 (1991) 九重火山群, 東部及び中部域の形成史. 岩鉱, **86**, 243-263.
- 小野晃司 (1963) 5万分の1地質図幅「久住」および同説明書. 地質調査所, 124p.
- 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地質図幅), 地質調査所, 145p.