

中部九州の今市火砕流・大阪層群アズキ火山灰・上総層群Ku6C火山灰中に見られる
マグマの混合と猪牟田カルデラからの飛来距離による構成物の変化

鎌田浩毅¹ ・ 檀原 徹²

Evidence of magma mixing in the Imaichi pyroclastic-flow deposit, the Azuki Volcanic Ash of the Osaká Group, and the Ku6C Volcanic Ash of the Kazusa Group and their component changes for distances from Shishimuta caldera

Hiroki Kamata¹ and Tohru Danhara²

¹地質調査所 近畿・中部地域地質センター.

Osaka Office, Geological Survey of Japan,
4-1-67, Otemae, Chuo-ku, Osaka 540, Japan

² 株式会社フィッション・トラック.

Kyoto Fission Track Co. Ltd.,
33 Umezukita-machi, Ukyo-ku,
Kyoto 615, Japan

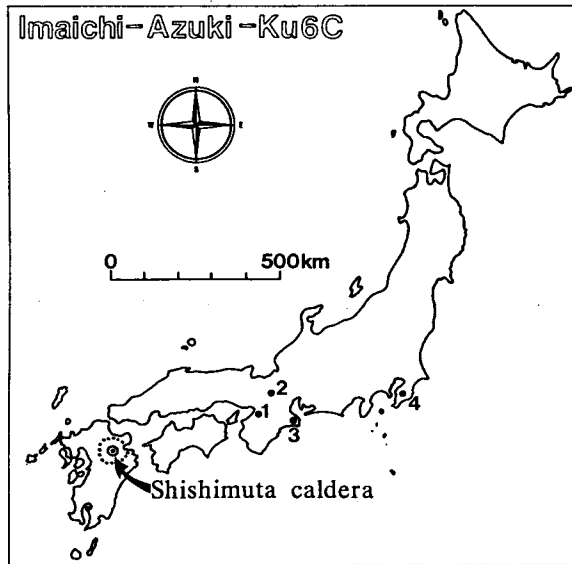
1. はじめに

大阪層群の第三海成粘土層(以下Ma3と呼ぶ)に挟まれるアズキ火山灰は、近畿地域における前期更新世最末期の重要な鍵層の1つである(藤田ほか, 1951; 市原, 1960; 横山・楠木, 1967; Itihara et al., 1975)が、長い間その噴出源が明らかではなかった。これまでアズキ火山灰は、大阪より東方の火山灰、即ち、滋賀県志賀町に産する古琵琶湖層群喜撰火山灰(林, 1974; Yokoyama, 1975)、三重県磯部町に産する先志摩層磯部火山灰(町田ほか, 1980)、千葉県市原市に産する上総層群Ku6C火山灰(町田ほか, 1980)と対比されてきた(第1図)。このことは、アズキ火山灰が500kmを越える範囲に分布する広域テフラであることを意味する(例えば、町田・新井, 1992; p.173)。

中部九州では広い分布域をもつ大規模火砕流が複数確認されており、アズキ火山灰の堆積時期と同時期の前期更新世最末期(ハラミヨ・サブクロン後の松山逆磁極期)に噴出した大規模火砕流としては、今市火砕流(小野, 1963; 星住ほか, 1988; 他)がある。従来、今市火砕流は現存体積約3km³程度の火砕流としてしか認識されていなかった(Kamata, 1989b)。しかし、鎌田ほか(1994a)は今市火砕流の分布域と噴出源を再検討した結果、今市火砕流が推定体積約90km³に及ぶ大規模火砕流であり、大分県中部の猪牟田カルデラ(Kamata, 1989a; 鎌田, 1993)から噴出したことを明らかにした。

鎌田ほか(1994b)は、今市火砕流がアズキ火山灰とKu6C火山灰の両者と対比されるかどうかの検討を行うために、今市火砕流・アズキ火山灰・Ku6C火山灰の3者の試料について、(1)ガラス・斜長石・全重鉱物の量比、(2)重鉱物中の斜方輝石・単斜輝石・緑色普通角閃石・褐色普通角閃石・黒雲母・燐灰石・不透明鉱物の量比、(3)ガラス・斜方輝石・単斜輝石の屈折率のそれぞれの測定を行った。今市火砕流・アズキ火山灰・Ku6C火山灰中

の構成物の垂直変化を比較したところ、下位から上位へ向けて珪長質から苦鉄質への系統的な組成変化が認められ、3者が対比できることが判明した(鎌田ほか, 1992)。また、今市火砕流の直下に堆積しているプリニアン降下軽石層と、アズキ火山灰及びKu6C火山灰の基底に見られる白色細粒火山灰層(いわゆる“ハカマ”)中の構成物を調べたところ、これらも同様に対比されることが判明した。このことは、アズキ火山灰とKu6C火山灰が、今市火砕流の遠方堆積相であるco-ignimbrite ash(Sparks and Walker, 1977; Machida and Arai, 1983)と、プリニアン降下軽石の遠方堆積相(distal plinian ash)との両者で構成されることを示す(鎌田ほか, 1993)。即ち、アズキ火山灰及びKu6C火山灰中には、今市火砕流の噴火サイクル中の全噴出物(プリニアン降下軽石、珪長質の今市火砕流、苦鉄質の今市火砕流; 以下では“今市噴出物”と略記する)の層序が、給源からそれぞれ450km及び900km飛来した遠隔地においても保存されていることを意味する。



第1図

アズキ火山灰及びこれに対比される火山灰の確認された地点と、今市火砕流を噴出した猪半田カルデラ。1:大阪層群アズキ火山灰(鎌田ほか, 1994b), 2:古琵琶湖層群喜撰火山灰(林, 1974), 3:先志摩層磯部火山灰(町田ほか, 1980), 4:上総層群Ku6C火山灰(町田ほか, 1980; 篠崎ほか, 1988)。○印:猪半田カルデラ(Kamata, 1989a)。点線は今市火砕流の分布範囲を示す(鎌田ほか, 1994a)。

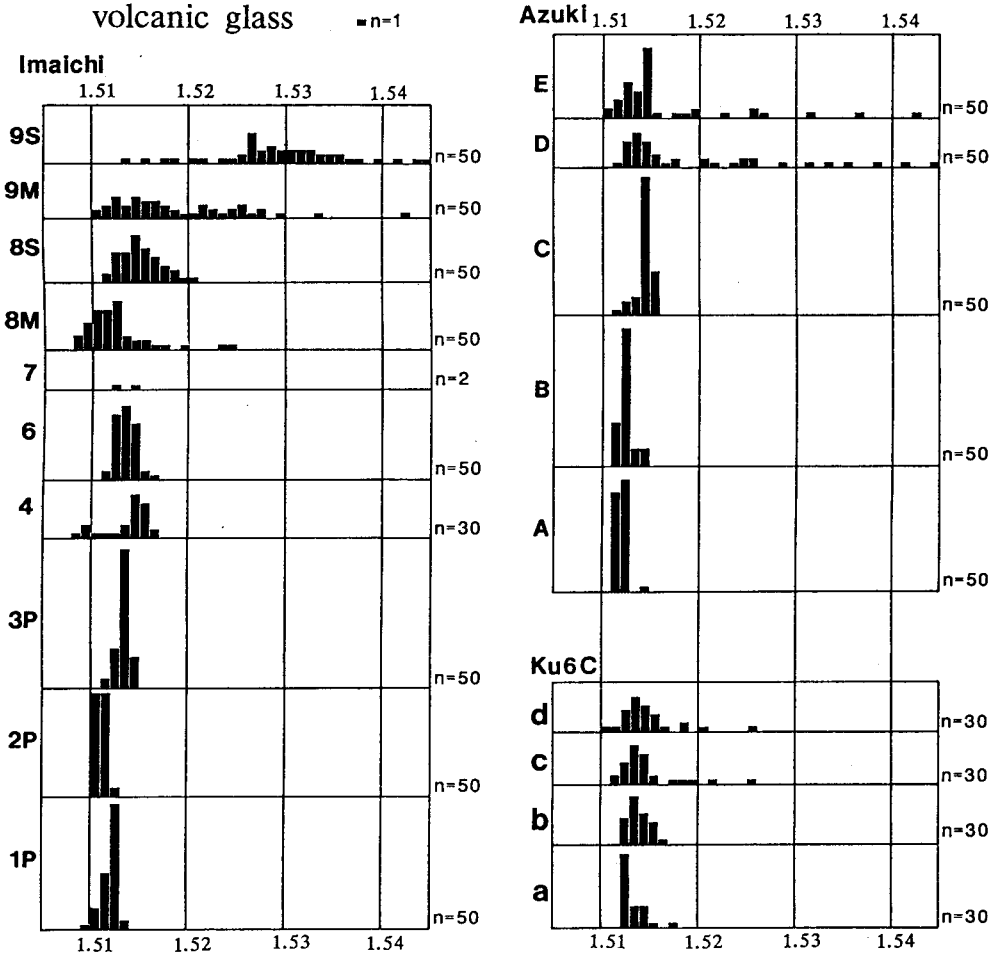
また、最近アズキ火山灰・Ku6C火山灰・今市火砕流のそれぞれの古地磁気測定が行われ、3者が同じ磁化方位(偏角及び伏角)を示すことが判明している(林田ほか, 1993)。なお、今市噴出物・アズキ火山灰・Ku6C火山灰の地質の概要とその対比の詳細は、鎌田ほか(1994b)に譲る。

以下では、鎌田ほか(1994b)の測定結果に基づき、今市噴出物・アズキ火山灰・Ku6C火

山灰中に見られるマグマの混合と、飛来距離による構成物の変化を論ずる。

2. 今市噴出物・アズキ火山灰・Ku6C火山灰に見られるマグマの混合

今市噴出物中に2種のガラス及び2種の斜方輝石が産すること(鎌田ほか, 1994b)は、今市火砕流のマグマ溜りに compositional zoning があったことを示す。また、このような証拠は、アズキ火山灰及びKu6C火山灰中にもほぼ忠実に再現されている。



第2図

今市噴出物・アズキ火山灰・Ku6C火山灰中のガラスの屈折率の頻度分布(鎌田ほか, 1994b, による)。縦軸左の数字と記号は、鎌田ほか(1994b)の試料採取層準と一致する。1P-3P: プリニアン降下軽石層, 4-9S: 今市火砕流。右の数字(n)は測定個数。測定は、RIMS(温度変化型屈折率測定装置; 檀原, 1991; Danhara et al., 1992)を用いた。測定精度は 2×10^{-4} 。

一般に、低屈折率のガラスは高SiO₂の岩石中に産し、高屈折率のガラスは低SiO₂の岩石中に産する (Kittleman, 1963). これに対し、低屈折率の斜方輝石は高Mg/Fe比を示し、高屈折率の斜方輝石は低Mg/Fe比を示す (Deer et al., 1978). 従って、計測されたガラス屈折率(第2図)及び斜方輝石屈折率(第3図)の変化は、いずれもマグマ組成の同一方向の進化を示唆している。即ち、プリニアン噴火と火砕流噴火の前半では珪長質マグマが噴出し、火砕流噴火の後半では珪長質マグマと苦鉄質マグマとの混合物が噴出したことを意味する。

ただし、マグマ混合開始の証拠が得られる層準は、ガラスによる結果と斜方輝石による結果とでは若干異なる。即ち、今市火砕流の基底部非溶結相(第2図4)から強溶結相(7)の間では、珪長質マグマ起源の低屈折率のガラスのみが観察され、苦鉄質マグマ起源の高屈折率のガラスは認められない。一方、苦鉄質マグマ起源のガラスは、今市火砕流の上部弱溶結相の基質(8M)から少量出現し始め、今市火砕流の最上部非溶結相のスコリア(9S)中では苦鉄質マグマ起源のガラスのピークが珪長質マグマ起源のそれらを凌ぐ。このように、ガラスの屈折率の結果からは、第2図8より上位の層準で、苦鉄質マグマが珪長質マグマ中に注入された証拠が確認される。

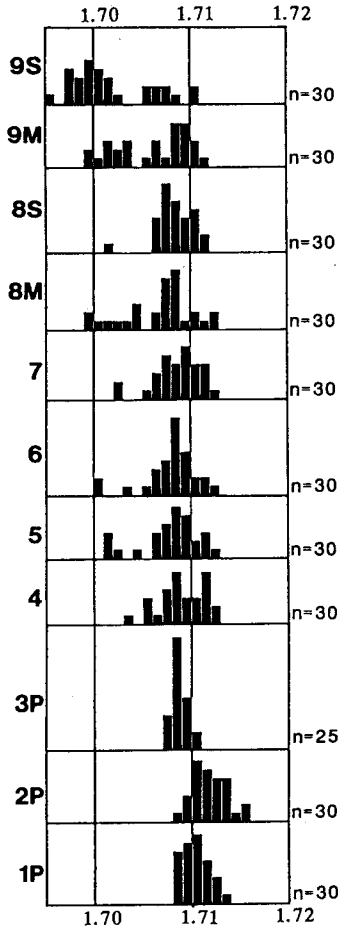
斜方輝石の屈折率でも、同様のマグマ混合が認められる。今市火砕流の最上部(第3図9S)では、苦鉄質マグマ起源の斜方輝石のピークが珪長質マグマ起源のそれらを凌ぐ。しかし、斜方輝石によって示される、苦鉄質マグマが珪長質マグマ中に注入した層準は、ガラス屈折率の示す層準よりも低い。即ち、苦鉄質マグマを表す低屈折率の斜方輝石は、今市火砕流の基底部(第3図4)から少量出現している。

このようなガラスと斜方輝石の示す差異は、マグマ溜り中におけるガラスと斜方輝石の反応速度の差異に起因すると推定される。今市火砕流の基底部の層準(第3図4)から少量の低屈折率斜方輝石が出現することは、この位置で苦鉄質マグマが注入されたことを示している。また、晶出した斜方輝石は、その後の液の組成変化に応じることなく、初期の苦鉄質マグマの注入の証拠を残していると考えられる。これに対し、ガラスは液の組成変化により敏感に反応し混じってしまうために、ガラス屈折率の結果には苦鉄質マグマの注入開始の証拠が残らない。この結果、苦鉄質マグマを示す高屈折率のガラスが観測されるのは、今市火砕流上部(第2図8)から上位である。

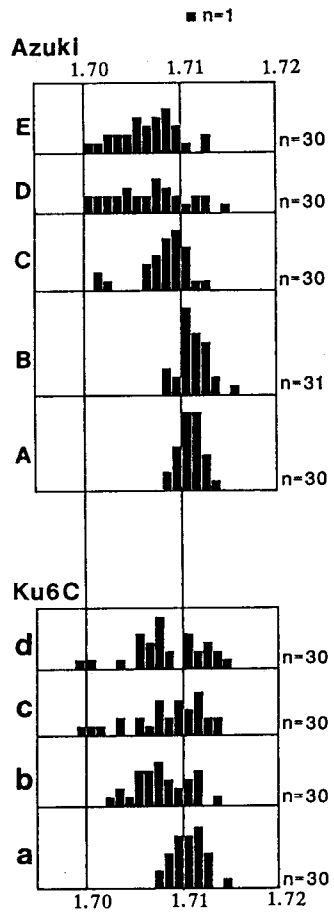
なお、プリニアン降下軽石層中のガラス屈折率(第2図1P-3P)と斜方輝石屈折率(第3図1P-3P)のピークは、いずれも珪長質マグマの値の範囲内にあり、かつ今市火砕流のそれらよりも集中度がよい。このことは、プリニアン降下軽石層を供給したマグマの組成は、今市火砕流の最下部を供給したマグマよりもさらに均質な珪長質マグマからなることを示唆する。

なお、斜方輝石の屈折率において、今市火砕流の最下部から苦鉄質マグマの痕跡が認められることは、プリニアン噴火から火砕流噴火への移行時期が、珪長質マグマからなるマグマ溜り中に苦鉄質マグマが注入された時期と一致することを示している。しかし、今市火砕流の噴火が、苦鉄質マグマの注入をトリガーとして起きたかどうかの因果関係は明らかではない。

Imachi



orthopyroxene



第3図

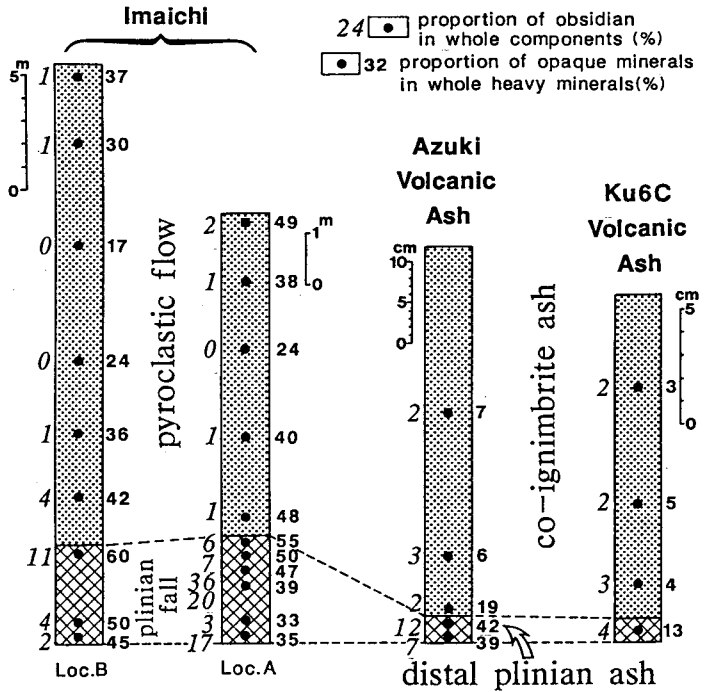
今市噴出物・アズキ火山灰・Ku6C火山灰中の斜方輝石の屈折率(γ)の頻度分布(鎌田ほか, 1994b, による)。縦軸左の数字と記号は、鎌田ほか(1994b)の試料採取層準と一致する。1P-3P: プリニアン降下軽石層, 4-9S: 今市火砕流。右の数字(n)は測定個数。測定にはRIMSを用いた。測定精度は 2×10^{-4} 。

上記の今市噴出物に見られるマグマ混合は、アズキ火山灰及びKu6C火山灰中にもそれぞれほぼ忠実に確認される。プリニアン降下軽石層中のガラス及び斜方輝石の屈折率が、いずれも今市火砕流下部の珪長質マグマ起源の値を示し、かつ屈折率の集中度がよいこと(第2, 3図1P-3P)は、アズキ火山灰AB層とKu6C火山灰a層においても確認される。

次に、今市火砕流の下部-中部(第2図4-7)に対比される層準のガラス屈折率を比較すると、アズキ火山灰C層・Ku6C火山灰b層中のガラスは、いずれも珪長質マグマ起源のものに限られ、苦鉄質マグマ起源のガラスが認められない(第2図)。これに対し、上記の層準の斜方輝石屈折率(第3図4-7, C, b)では、3者ともに珪長質マグマ起源の斜方輝石(高屈折

率)中に、苦鉄質マグマ起源の斜方輝石(低屈折率)が少量混入し始める様子を示す。このように、今市火砕流の下部-中部に見られるガラスと斜方輝石とに現れる微妙な差異は、アズキ火山灰とKu6C火山灰の対応する層準にも再現されている。

さらに、今市火砕流上部のガラス及び斜方輝石の屈折率に見られる苦鉄質マグマの証拠(第2,3図の8M-9S)は、アズキ火山灰(DE)とKu6C火山灰(cd)にも認められる。ただし、今市火砕流の最上部に見られる苦鉄質マグマが珪長質マグマを凌ぐ現象(第2,3図9S)に対応するものとしては、アズキ火山灰のD,E層とKu6C火山灰のc,d層では、苦鉄質マグマの混入としては認められるが、苦鉄質マグマが珪長質マグマを凌ぐには至っていない。しかし、この点を除き、今市火砕流で見られたガラスと斜方輝石の出現様式の特徴の殆どが、アズキ火山灰とKu6C火山灰の対応する層準に、細かく再現されているといつてよい。



distance to vent (km)	25	40	450	900
glass (%)	79.0		86.4	94.4
plagioclase	15.3		10.2	4.6
heavy min.	5.7		3.4	1.0

第4図

今市噴出物・アズキ火山灰・Ku6C火山灰の対比(鎌田ほか, 1994b, に一部加筆)。柱状図左の数字: 黒曜石片の全構成鉱物に対する量比。右の数字: 不透明鉱物の全重鉱物に対する量比。Loc. A: 大分市曲, Loc. B: 野津原町籠ノ台。

3. 飛来距離による構成物の変化

(1) 全構成鉱物の量比

今市火砕流・アズキ火山灰・Ku6C火山灰の全構成鉱物の量比には、給源からの飛来距離による系統的な変化が認められる。比重の大きい全重鉱物の全構成鉱物に対する量比は、九州→大阪→千葉の順に5.7%→3.4%→1.0%と減少する(第1表; 第4図)。また、比重が重鉱物よりも小さくガラスよりも大きい斜長石の量比は、15.3%→10.2%→4.6%と減少する。これに対し、比重の小さいガラスの量比は、79.0%→86.4%→94.4%と遠方ほど増加する。これらの現象は、噴出物が飛来中に比重による淘汰を受けたことを示唆する。

第1表 飛来距離による構成物の変化

area deposit name		Kyushu Imaichi	Osaka Azuki	Chiba Ku6C
distance from source vent (km)		25-40	450	900
proportions in whole components (%)	glass	79.0	86.4	94.4
	plagioclase	15.3	10.2	4.6
	heavy mineral	5.7	3.4	1.0
proportions of opaque minerals (%)	ignimbrite	31	11	4
	plinian fall	52	40	13
ignimbrite/plinian ratio		0.6	0.3	0.3

(2) 不透明鉱物の量比

比重の最も大きい不透明鉱物の全重鉱物に対する量比にも、飛来距離による系統的变化が認められる。特に、火砕流相(今市火砕流及びco-ignimbrite ash)と降下火砕物相(プリニアン降下軽石層及びdistal plinian ash)との間で見られる変化は、飛来中の火山灰の分別の有無を示す可能性がある。火砕流相中の不透明鉱物は、九州→大阪→千葉の順に31%→11%→4%と減少し、降下火砕物相中のそれらも同様に、52%→40%→13%と減少する(第1表)。即ち、不透明鉱物の量比は、両相ともに給源から遠ざかるほど減少している。一方、これらを定量的にみると、火砕流相と降下火砕物相との間には減少率の差が認められる。即ち、今市火砕流中の不透明鉱物の量比(31%)は、プリニアン降下軽石層中のそれら(52%)の約6割である(第1表)。これに対し、アズキ火山灰中のco-ignimbrite部分の不透明鉱物の量比(11%)は、distal plinian ash部分のそれ(40%)の約3割しかない。また、Ku6C火山灰においても、co-ignimbrite/plinian比率(4%/13%)は、同様に約3割である。このことは、火砕流から火山灰が分離したところで不透明鉱物のco-ignimbrite/plinian間の分別が行われたことを示唆し、大阪と千葉の間では、同様の分別が行われなかったことを示唆する。

(3) 分別のモデル

上記の事実は、以下のように解釈できる。プリニアン噴火のステージでは、噴出した

構成物の殆どは直接偏西風に乗って運搬・堆積したために、不透明鉱物が比重による淘汰を受け減少する機会が少なかったと考えられる。これに対して、プリニアン噴煙柱崩壊後の火砕流噴火のステージでは、噴煙柱から直接分離した細粒火砕物に加えて、流走した火砕流から舞い上がった細粒火砕物がco-ignimbrite ashとして運搬・堆積したため、比重の大きな不透明鉱物が選択的に除去される機会が多かったと考えられる。このために、co-ignimbrite ash中の不透明鉱物の量比は、distal plinian ash中のそれらと比べると少ない結果をもたらしたと考えられる。これに対して、大阪と千葉の間では、co-ignimbrite ashとdistal plinian ash間の構成物を分別するプロセスがなかったと考えられる。

引用文献

- 檀原 徹, 1991, RIMSによる屈折率測定とその応用. 月刊地球, 13, 193-200.
- Danhara, T., Yamashita, T., Iwano, H. and Kasuya, M., 1992, An improved system for measuring refractive index using the thermal immersion method. Quatern. Intern., 13/14, 89-91.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., 1978, Rock-forming minerals, vol. 2A, single-chain silicates, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York, 668p.
- 林 隆夫, 1974, 堅田丘陵の古琵琶湖層群. 地質学雑誌, 80, 261-276.
- 林田 明・鎌田浩毅・檀原 徹, 1993, 古地磁気方位による広域テフラの対比—中部九州, 近畿, そして房総半島—. 第94回地球電磁気・地球惑星圏学会予稿集, C12-07.
- 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.
- 藤田和夫・池辺展生・市原 実・小島信夫・森島正夫・森下 晶・中川衷三・中世古幸次郎, 1951, 大阪層群とそれに関連する新生代層. 地球科学, no.6, 49-60.
- 市原 実, 1960, 大阪, 明石地域の第四紀層に関する諸問題. 地球科学, no.49, 15-25.
- Itihara, M., Yoshikawa, S., Inoue, K., Hayashi, T., Tateishi, M. and Nakajima, K., 1975, Stratigraphy of the Plio-Pleistocene Osaka Group in Sennan-Senpoku Area, South of Osaka, Japan—A standard stratigraphy of the Osaka Group—. Jour. Geosci. Osaka City Univ., 19, 1-29.
- Kamata, H., 1989a, Shishimuta caldera, the buried source of the Yabakei pyroclastic flow in the Hoho volcanic zone, Japan. Bull. Volcanol., 51, 41-50.
- Kamata, H., 1989b, Volcanic and structural history of the Hoho volcanic zone, central Kyushu, Japan. Bull. Volcanol., 51, 315-332.
- 鎌田浩毅, 1993, 耶馬溪火砕流の噴出源としての猪牟田じょうご型カルデラ—カルデラ

内の湖成堆積物と崩落堆積物一。月刊地球, 15, 691-699.

鎌田浩毅・檀原 徹・林田 明, 1993, Co-ignimbrite ashとco-plinian ashとで構成される広域火山灰-大阪層群アズキ火山灰と上総層群Ku6C火山灰の例-。火山学会講演予稿集, 1993-no.2, 84.

鎌田浩毅・檀原 徹・林田 明・星住英夫・山下 透, 1994a, 中部九州の今市火砕流堆積物と類似火砕流堆積物との対比及び噴出源の推定。地質学雑誌, 100, no.4, (印刷中)。

鎌田浩毅・檀原 徹・山下 透・竹村恵二・星住英夫, 1992, 中部九州の今市火砕流堆積物の給源カルデラの推定, 及び大阪層群アズキ火山灰と今市火砕流堆積物との対比。火山学会講演予稿集, 1992-no.2, 109-110.

鎌田浩毅・檀原 徹・山下 透・星住英夫・林田 明・竹村恵二, 1994b, 大阪層群アズキ火山灰及び上総層群Ku6C火山灰と中部九州の今市火砕流堆積物との対比。地質学雑誌, 100, (印刷中)。

Kittleman, L. R., 1963, Glass-bead silica determination for a suite of volcanic rocks from the Owyhee Plateau, Oregon. Geol. Soc. Amer. Bull., 74, 1405-1410.

Machida, H. and Arai, F., 1983, Extensive ash falls in and around the Sea of Japan from large late Quaternary eruptions. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 18, 151-164.

町田 洋・新井房夫, 1992, 火山灰アトラスー日本列島とその周辺一。東大出版会, 東京, 276p.

町田 洋・新井房夫・杉原重夫, 1980, 南関東と近畿の中部更新統の対比と編年ーテフラによる一つの試み。第四紀研究, 19, 233-261.

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.

篠崎 貞・宗政行英・長岡重孝, 1988, Ku6C, 6D火山灰。地学資料上総層群上部鍵層集(1987年版), 千葉県教育委員会, 142-143.

Sparks, R. S. J. and Walker, G. P. L., 1977, The significance of vitric-enriched air-fall ashes associated with crystal-enriched ignimbrites. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 2, 329-341.

Yokoyama, T., 1975, Plio-Pleistocene Kobiwako Group on the west coast of Lake Biwa with special reference to correlation to the 200 m core sample of Lake Biwa by tephra. Paleolimnology of Lake Biwa and the Japanese Pleistocene, 3, 114-137.

横山卓雄・楠木幹浩, 1967, 大阪層群には含まれるアズキ火山灰層についてー近畿地方の新期新生代層の研究, その8一。同志社大理工研報, 8, 57-75.