広域テフラと考古学¹⁾

町田 洋²⁾・新井 房夫³⁾

Widespread late Quaternary tephras in Japan with special reference to archaeology

Hiroshi MACHIDA¹⁾ and Fusao ARAI²⁾

Detailed description of specific features of tephra has recently disclosed a number of tephras spread over extensive areas in and around Japan. The present paper gives an overview of such widespread tephras of late Quaternary in Japan and discusses their significances in several problems regarding the Japanese archaeology.

1) Widespread tephras can be classified into three types: large-scale plinian airfall pumice, large-scale ignimbrite and coignimbrite ash falls. The third type of tephra should be the dominant class of widespread tephra. Fine-grained vitric ashes of this type, represented by the Kikai-Akahoya (K-Ah), Aira-Tn (AT) and Aso-4 ashes, cover most of the Japanese islands and adjacent areas, forming important time-markers in the upper Quaternary sequences.

2) The characterization of tephras for identification is made from various viewpoints. However, accurate determination of refractive indices of volcanic glass shards and phenocrysts, together with chemical data and other criteria, have enabled most successful characterization of the tephra layers and interregional correlation.

3) Of the widespread tephra occurring in and around Japan two are alkalic in composition and are the products of the two Korean volcanoes of the Holocene age: the Baegdusan-Tomakomai (B-Tm) and Ulreung-OkI (U-OkI) ashes. The B-Tm is recognized on Hokkaido and the northern part of Honshu, where a reliable archaeological age is given around the 11th century. The U-OkI occurs on central Honshu, where five radiocarbon ages of around 9,300 y.B.P. were obtained.

4) Recognition of the widespread tephras in archaeological sites, especially the AT and K-Ah ashes, has compelled us to revise some former views on archaeological chronology, both in the neolithic and paleolithic ages. A number of archaeological assemblages were recovered from below AT (21,000—22,000 y.B.P., determined from 24 radiocarbon dates). Diversity in technological traditions and rapid cultural change, however, appear to begin immediately after the eruption of AT. The neolithic Jomon ceramic culture began about 10,000 y.B.P., during which K-Ah ash (6,300 y.B.P., determined from 41 radiocarbon dates) provides the definite datum plane in the archaeological sequence. The K-Ah eruption would have given heavy impacts on the Japanese Jomon world. Some K-Ah event and was reoccupied several hundred years ago by bearers of the different cultural tradition.

1) 1982年8月20日, 日本第四紀学会にて発表.

2) 東京都立大学理学部地理学教室

3) 群馬大学教育学部地学教室

はじめに

テフラと考古学の研究とは、長年の間互いに刺戟し合って発展してきたといえる。テフラ噴火の年代が、埋蔵人類遺物の研究から決定できることは前世紀から注目されてきた。最近では逆に、確実に同定された広域分布のテフラによって遺物の型式編年を見なおす、という事態も生じるようになった(町田・新井, 1976)。噴火と人類遺物の編年問題が両研究の接点となったのは、テフラがきわめて短い時間に広い地域に堆積すること、およびそうした現象が人類とその環境にとってきわめて衝撃的な影響を与える大事件であること、といったテフラ噴火の特性に由来している。

本稿では、日本列島でみられるテフラのうち広域テフラに焦点を絞り、噴火の性状、テフラ同定法、考古学編年と文化の変遷に果すテフラの意義について、これまでに得られた知見をまとめることにする。

1. 広域テフラをもたらす噴火

ここで主対象とする広域テフラとは、噴出物総量が 10 km^3 をはるかに越す巨大噴火の産物であって、給源から数百〜千 km 以上隔たった地域においても、独立した地層として認められるテフラを指す。なお噴出物総量が 1 km^3 ていどのプリニアン噴火でも、降灰そのものは上記のような遠隔地で普通に観察されるが、地層として残る地域は給源火山の近傍に限られる。

RAMPINO *et al.* (1979) はこの種の広域テフラの例 28 (過去 8.5 万年間) を表示した。その中でテフラ総量が 100 km^3 を越すものは、Toba テフラなど 8 例を数える。今後調査域が広がるにつれ、その数は確実に増すにちがいない。なお歴史時代の日本列島では、このクラスの巨大噴火は幸いにして起らなかった。

$10 \sim 100 \text{ km}^3$ のオーダーの多量のテフラを一瞬のうちに $50,000 \text{ km}^2$ 以上の広域に噴出する巨大噴火の性状は、現象がきわめて稀であることに加えて近傍からの詳しい観察が不可能であったことのためによくわかっていない。それは主に堆積物の性質の解析から追究される。

これまでに報告された広域テフラは、噴出・運搬・堆積機構からみると、次の 3 タイプに大別できよう (MACHIDA, 1980)。

タイプ 1 大規模なプリニー式噴火のテフラ。火山近傍に広くみられる降下軽石層の大部分はこのタイプである。火口上に $10 \sim$ 数 10 時間も続いてまた何回も上昇した高さ $10 \sim$ 数 10 km の噴煙柱からは、風送による降下テフラを生じる。それと同時にまたは直後に火砕流もしばしば発生する。軽石がよく発泡している場合ほど噴煙柱は高く、風送テフラはより広域に分布する。またその分布域は卓越風向に支配され、明瞭な lobate 状をなすことが多い。厚さや粒度は距離とともに指数函数的に減少する (Fig. 1)。最近 WALKER (1980) は、通常のプリニアン軽石よりも著しく細粒でしかも広域に分布する Taupo 軽石を報告し、それをもたらした飛散力のきわ

Fig. 1 Average maximum grain-size of several widespread tephra as a function of distance from source.

4) 東京人類学会雑誌 14 巻 152 号の雑報, p. 77 に「人類学と火山学」と題し、ライン河近傍で軽石の年代を人類遺物から決定できたという報告を紹介して、日本でも火山の研究に人類学の補助を要する旨のアピールがある(著者不詳)。

Table 1 Various methods of characterization of tephra.

Lithostratigraphic method (Field work)	{	Stratigraphic position (including ages determined by various methods)
		Morphology (thickness, grain-size, color, grading, degree of weathering, etc.)
Petrographic method (Laboratory work)	{	Rock level
		Texture of essential materials
		Mineral assemblage (phenocryst/glass ratio, light mineral/heavy mineral ratio, etc.)
	{	Bulk chemistry
		Morphology of specific mineral and glass (crystal habit, shape and color of glass)
		Mineral level
		Refractive indices of specific minerals and glass
		Thermomagnetic properties
		Chemical composition of specific minerals and glass

めて大きな噴火をウルトラプリニー式と呼んだ。

タイプ2 巨大火砕流堆積物。多量の珪長質マグマが地表付近で一斉に発泡・爆発し、高温の粉体（火山灰・軽石・石質岩片）がガスとともに火口から溢れ出る活動が、大規模な火砕流を形成する。その分布はタイプ1と異なり、噴出中心をとりまく同心円状をなす。最遠到達地点が火口から100 kmを越すことも稀ではない。一般にこの種の堆積物は低所で厚く堆積し、尾根上には残らないことが多いので、分布は降下テフラほど連続的ではない。しかし、最近降下テフラのように斜面をおおって薄く広く分布する火砕流の例がニュージーランドやニューブリテンから報告された (WALKER *et al.*, 1980)。なお大火砕流噴出に先立ってプリニー式噴火がおこり、降下軽石が堆積することが多いが、必ずしもすべての場合にみられるものではない (Aso-4などは先行降下物を伴わない)。

タイプ3 巨大火砕流と同時の降下テフラ。その形成機構は十分に解明されていないが、巨大火砕流が噴出するとき、噴煙柱の上部または火砕流の上方に集積した火山ガラス片を主とする細粒火山灰が、風送されて生じたと考えられるテフラがこれである。町田・新井(1976)は、始良 Tn 火山灰の形成についてこうしたモデルを描いた。SPARKS (1976) も大火砕流堆積物上部にこのような火山灰のあることをのべ、SPARKS and WALKER (1977) は斑晶-ガラス比がこの種の火山灰と軽石との間で著しく異なることからその形成機構を論じて、*coignimbrite ash* と呼んだ。本稿で主に扱う広域テフラ (鬼界アコハヤ火山灰[K-Ah]や始良 Tn 火山灰[AT])

はこのタイプのものである。それらは次のような特徴をもつ。1) おそらく極端な遅延発泡で生じたバブル型火山ガラスを主体とする。2) 量的には同時に噴出した火砕流の体積と同等かそれを上回ることがある。3) 粒度や厚さの距離に対する変化はタイプ1や2に比べてきわめて小さい (Fig. 1)。4) 分布域はタイプ1とタイプ2のその中間型をなし、主卓越風の風上側にもかなり広く分布する。これについては後に AT の例について再び触れる。

以上のように、広域テフラを形成する噴火では、マグマが珪長質でしかも多量であることに加えて、多量の細粒火山灰が生成されることが特徴的に共通している。著しい粉碎現象は、マグマが海水や湖水に接したとき、とくに激烈に起ると考えられる。ここで扱う K-Ah は浅海底噴火で生じ、また AT を生じた一連の噴火は湖底で起ったと考えられる。これらのテフラに特徴的な細粒火山ガラスのかかなりの部分は、この種の水蒸気プリーン噴火の結果かもしれない。最近 WALKER (1979) は、ニュージーランドで火砕流が海に入って大爆発を起して生じた降下テフラを報告した。この種の成因をもつ *coignimbrite ash* は、日本でも近い将来区別できるかもしれない。

2. 広域テフラの同定

テフラ研究の基礎はテフラの同定にある。現在行なわれているテフラ同定法を整理すると、Table 1 のとおりである (新井, 1978)。層位・層相による同定は、テフラのもつ地層としての層位学的側面を追究し、岩石記載

的方法と呼んだものは、火山噴出物としての性質を追う。層位を異にするが岩石記載の性質では酷似したテフラもあるし、層位が近くても異なった岩石記載の性質をもつものもある。このように一枚のテフラの同定においては、両側面は車の両輪の関係にある。

一般に降下テフラは、安息角以上の急斜面を除く地表を雪のようにおおって堆積する。しかしそれは堆積後の短期間のうちに別な物質におおわれて埋没しない限り、風化や土壌化、あるいは他起源の粒子を混交して一次的堆積相を失っていく。広域テフラの一次的層相に近いものを見出そうとするならば、累積性テフラなどが発達する火山近傍や静水域の堆積物（泥炭層、湖成層や深海底堆積物）のみられるところに注目する必要がある。なお山地の崖錐、沖積錐なども比較的高純度のテフラを保存することができる。

このように広域テフラといえども、肉眼でテフラを観察できる地点は断片的である。これが広域テフラの認定を遅らせた一因である（早津・新井，1982）。また野外における層位・層相の性質のみで同定することを困難にする。したがって実験室内でのテフラの岩石記載の性質の観察、分析による同定法が、重要視されるのも当然であろう。Table 1 に示した岩石記載の諸性質の中でも、鉱物レベルでの特徴づけは同定にあたり最も意義深い。

以下、Table 1 の岩石記載の方法の若干の項目について問題点を略記しておく。

第一に扱うのは、同定すべきテフラの堆積・保存条件が良好な場合である。これらの条件が劣悪で、風化や混交の著しい場合は(3)で述べる。

(1) 岩石レベルでのテフラの同定

一般に、テフラは発泡物質（軽石・スコリア（斑晶鉱物を含有）や火山ガラス片）、遊離斑晶、石質岩片などの混合物である。それらの混合の割合や鉱物とガラスの組合せは、個々のテフラ（またはその中の1ユニット）に固有であるので、同定の一資料として重要視されてきた。しかしそれらは給源火口からの距離が増すにつれ淘汰を受けるために異なっていく、とくに広域テフラは元来細粒火山ガラスを多量（95 wt% 以上）に含み、斑晶鉱物は少ないので、火口から 500 km 以上もの遠隔地に行くと、斑晶—ガラス比はいよいよ小さくなる。このため斑晶鉱物（とくに重鉱物）の組成比は、多量の試料を一定の方法で処理しないと高精度で得られない。また重鉱物組成の値は、試料処理や計測方法によってもかなり異なることが知られている（新井，1972）ので、テフラ同定のための第一級の示標とするには問題がある。

テフラ同定のために、全岩を対象とした化学分析もしばしば行なわれたが、上述のように地域により斑晶の割合が異なるため、広域的な対比、同定に用いるには問題がある。KELLER *et al.* (1978) は地中海海底に堆積している Y5 テフラについて、全岩化学分析から Ischia テフラに対比されるとしたが、THUNELL, *et al.* (1979) は火山ガラスの化学組成に基づくなら Grey Campanian Ignimbrite に対比されるとしたなどは一例である。なお ROSE, *et al.* (1980) は、斑晶—ガラス比の地域的変化が小さい場合、ガラス質火山灰や粗粒軽石にとむテフラの対比には、全岩化学組成が有効であると述べている。

多数のテフラの中には、ユニット（メンバーやベッドの単位）によって鉱物組成や特定鉱物の岩石記載の性質が異なるものがある（例：箱根起源の KmP-1, 新井ほか，1977）。このためには、給源近傍の地域でユニットごとに鉱物の組合せ、組成比、斑晶—ガラス比、斑晶やガラスの性質に系統的ちがいがあるか否かを確かめておく必要がある。

(2) 鉱物レベルでのテフラの同定

火山ガラスのタイプ

HEIKEN (1972) が述べたように、軽石・スコリアを含めた火山ガラスのタイプは、マグマの化学組成と噴火様式に支配される。広域テフラにみられるタイプは、細粒軽石ガラス（micropumice）とバブル型火山ガラス（bubble-walled glass）である。前者のみを含有するテフラは、給源近傍ではおそらくプリニー式噴火による粗粒の降下軽石に移行する。その例はきわめて多い（Table 2 の中では鬱陵—隠岐火山灰）。後者を含有するタイプは、Table 2 の始良 Tn 火山灰（AT）、鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah）、阿蘇 4 火山灰（Aso-4）など、第一級の広域テフラに共通してみられる。このタイプのガラスは極端な遅延発泡の結果生じたものと考えられ、coignimbrite ash に多い。なお、バブル型ガラスは一般に泡の壁をなしていた平板状または曲面状のガラスを指すが、泡が細かくなってつぎ目の部分（junction）が高密度となるとスポンジ状ないし繊維状となり軽石型ガラスに移行する。またバブル型ガラスが風化すると、薄い平板の部分は早期に粘土化し、比較的厚いガラスのある junction のみが Y 字状ないしテトラポッド状をなして残るようになる。このようにガラスの形態はテフラの個性の一つだが、研究者により分類単位の大きさや名称が異なるのは問題点である。

ガラスの組成がやや苦鉄質になると、淡褐色に着色し

てくる。一般にガラスの屈折率が 1.508 以上になると、このような着色ガラスが観察される。

火山ガラス・斑晶鉱物の屈折率

これはテフラの同定にあたってもっとも重要なパラメーターの一つである。日本の主要テフラについては、他の性質とともにカタログができています（新井・町田, 1980）。この方法のメリットの一つは、温度や浸液の精度などが厳密に制御された実験条件下では、僅かな試料でも迅速に高精度の測定値を得ることができる点である。これまで火山ガラス n のほかに、斜方輝石 γ 、角閃石 n_2 、長石 n_1 が測定されてきた。欧米では当初よく用いられた屈折率による特徴づけと同定が、最近では批判され、化学分析による同定にとって代られるようになった（KITTLEMAN, 1979; WESTGATE and GORTON, 1981 など）。その理由は、よく測定された火山ガラス n の範囲が比較的せまく、多数の珪長質テフラのその値が 1.500—1.510 の間に重なり合って区別し難いことにある。また EPMA などの迅速化学分析が可能になったことなどもその背景にある。しかしながら、屈折率によるテフラの同定ではガラスの n のみに頼るのではなく、複数の鉱物屈折率を組み合わせることで異同を論じることができる。また試料調製の過程で、斑晶/ガラス比、粒度、鉱物組成、ガラスのタイプ、色などの多くの岩石記載的性質が観察・記載される。このように屈折率を中心とした記載は、上述の高精度迅速測定の利点と合わせて、なお優秀な同定法の一つだといえるだろう。

広域テフラの場合には、既述のように、著しい遠隔地では本質斑晶含量が著しく減少する。このためそれらの屈折率測定は不可能かあるいは低精度とならざるを得ない。AT の場合、これに特徴的な高屈折率 ($\gamma=1.733$) の斜方輝石を検出し難くなるのは、給源から 1,000 km 以上離れた地域である。K-Ah の場合も、給源から 700 km 以上の遠隔地では、斜方輝石 10~30 粒を対象にして屈折率のレンジとモードを測ることは難しくなる（後述）。なおこうした遠隔地では、ある広域テフラの採取試料中に本質斑晶と同種の鉱物が含まれていることが多いが、それらの多くは混交物とみなせる場合が多いので注意を要する。

火山ガラス・斑晶鉱物の化学組成

既述のように、最近多用されているテフラ同定法の一つは、最新の機器を駆使した化学分析によるものである。その中でも代表的なのは EPMA による主要元素測定（8~10 種）と XRF による主要元素および一部の微量元素の測定（6~20 種）、INAA による主として微量

元素の測定（12~24 種）である。EPMA は微小領域の化学分析法であるから、必要試料の量は僅少でよいし、また迅速に高精度の測定を行ないうる。他の 2 方法では 500 mg 程度の試料を完全に純化せねばならないし、測定に時間と労力を要する。しかし多数の微量元素が定量できる利点は大い。なお、XRF と INAA による定量分析の対象は主に火山ガラス（または全岩）であるが、EPMA は斑晶にも適用される。

測定された化学組成に基づいて、テフラ間の類似性を検討するには、データの観察のほか、いくつかの成分の含量比（例えば Ca, Mg, Fe 成分比）の集中度、図表（例えばコンドライトで標準化された希土類元素のパターン）上での比較、あるいは定量値について分散分析を行ない、類似係数や変異係数を算出して判定する（BORCHARDT, *et al.*, 1971 など）などの諸方法が用いられている。日本でも最近 EPMA や INAA により、ガラスの化学組成が明らかとなったテフラが急増している。その結果、各テフラはそれぞれ固有の特色的な組成をもつものが多いことが知られたと同時に、異なった層層のテフラであるが、よく類似した化学組成をもつものもあることがわかってきた。詳しくは別稿を参照されたい。

これらのほか最近では火山ガラスの Sr 同位体比も、テフラの同定に役立つことが論ぜられている（倉沢ほか, 1983）。

他の鉱物レベルでの同定法

強磁性鉱物はテフラに含まれる普遍的な斑晶の一つで、しかも風化につよい。このためその化学組成や熱磁氣的性質が測定され、同定のためのパラメーターの一つとしてしばしば利用されてきた（MOMOSE, *et al.*, 1968; 庄子ほか, 1974 など）。広域テフラの場合には、本質的強磁性鉱物の含量は元来少ないため、遠隔地では他の斑晶と同様により少なくなる。もし遠隔地でかなりの量の強磁性鉱物が認められるなら、それは混交したものである可能性を否定できない。したがって火山ガラスが付着したり、その中に含まれていて、明らかに本質的斑晶と考えられるもののみを測定の対象に選ぶ必要がある。

このほか、最近では鉱物の格子定数値が測定されて、テフラの同定に利用できることが論じられている（岡田・小坂, 1983）。

(3) 土壌化したテフラの同定

これまでは比較的高い純度を保ち、野外で明確にテフラと認定できるものを対象にしたが、ここでは肉眼によるテフラの認定が不可能な風化土層から、特定テフラをいかに検出するかについて述べよう。もちろん、前提と

Fig. 2 Schematic section showing stratigraphic relationship between artifacts and time-marker tephra at Torihama archaeological site.

Content of glass shard comprising the Kikai-Akahoya ash; +, very abundant; ++, abundant; +, rare; -, not detected.

K, Kitashirakawa-lower II style potteries; D, dugout; n. a., no artifacts; H, Hajima-lower II style potteries; O, Oshigatamon style potteries; I. J., Incipient Jomon potteries.

して、特定テフラの標準試料につき多くのパラメーターの特性づけが行なわれ、そのテフラの給源、分布域、層位などが判明していなければならない。本州中部以西の考古学遺跡においては、旧石器遺物の包含層では AT を、また縄文早～前期の遺物包含層では K-Ah の層準をふつうに確認することができる筈である。

まず、試料を垂直的になるべく細かい間隔(5~10 cm)で、上下の土が混交しないように注意して採取する。そして試料を実験室内で入念に水篩し、粘土分を除去する。この際分散剤や超音波洗浄器を用いることが多い。粗雑にこの作業を行なうと、同定に重要な火山ガラスの大半を流し去ることがある。こうして得られた細砂分について、顕微鏡下で特定テフラに特徴的な火山ガラスや斑晶鉱物の含量を調べる。それらが多量に含まれている場合には、抽出して屈折率などの岩石記載的性質を調べ、予想される特定テフラとの異同を検討する。そしてそれらの含量が極大となる試料の層準を、堆積層準と判定する。一般に土壌化したテフラを含む地層では、テフ

ラ粒子の霜や生物による移動は下方よりも上方に及び易い。含量の極大層準から下方へは含量が急減するのに対し、上方への減少はゆるやかである。

Fig. 2 は一例として 福井県鳥浜貝塚における遺物包含層において、K-Ah を検出した結果を示す。ここでは、この断面と異なった地点(80 L 2 区)の掘削の結果、肉眼で K-Ah が識別されたが、人類遺物の出土層との層位関係は不明であった。遺物が出土した Fig. 2 の地層断面では、肉眼で同テフラを認めることはできない。ところで、K-Ah を特色づける火山ガラスは羽島下層Ⅱ式併行土器包含層以上の全層に分散して含まれているが、含量が極大となるのは土器包含層においてである。しかしこの層は、図示したように、下位の地層(押型文土器を包含し、中に U-Oki をはさむもの)を不整合関係で切っているため、K-Ah の堆積層準は、羽島下層Ⅱ式併行土器包含層があるいはその直下と結論せざるを得ない。

Table 2 Representative very widespread tephra during the last 70,000 years in and around Japan.

Tephra	(1) Age (kyBP) & Dating method	(2) Mode of emplacement	(3) Associated tephra and their sequence	(4) Bulk volume (km ³)	(5) * Volcanic glass Type Refractive index	(6) Phenocrystal minerals
Baegdusan-Tomakomai (B-Tm)	0.8-0.9 Archeology	plinian and/or coignimbrite	pfa→pfl=afa	40-50	pm>bw 1.506-1.516	af n ₁ =1.522-1.524
Kikai-Akahoya (K-Ah)	6.3 C-14	coignimbrite	pfa→pfl→pfl=afa (Koya)	150	bw>pm 1.508-1.514	p1;opx,cpx opx=1.709-1.712
Ulreung-Oki (U-Oki)	9.3 C-14	plinian	pfa→pfl	~10	pm 1.514-1.524	af;bi,ho af n ₁ =1.521-1.524 ho n ₂ =1.730-1.741
Aira-Tn (AT)	21-22 C-14	coignimbrite	pfa→pfl→pfl=afa (Osumi) (Ito)	300	bw>pm 1.498-1.501	p1;opx,cpx,(ho,qt) opx=1.728-1.734
Aso-4	70 Stratigraphy	coignimbrite	pfl=afa	150~	bw>pm 1.506-1.514	p1;ho,opx opx=1.699-1.701 ho n ₂ =1.685-1.691

pfa,pumice falls; pfl,pyroclastic flows; afa,ash falls
bw,bubble-walled glass shard; pm,pumiceous glass or micropumice
af,alkali feldspar; pl,plagioclase; qt,quartz; opx,orthopyroxene;
cpx,clinopyroxene; ho,hornblende; bi,biotite

*including associated tephra

3. 日本とその周辺地域に分布する第四紀後期の広域テフラ

Table 2 には、これまでに同定された広域テフラ 5 層について、それぞれの噴火輪廻内での層位、噴出年代、総体積、ガラスと斑晶の諸性質などが示される。ここでは各テフラの個別的記載は避けて、年代決定や同定の基準となるテフラ構成物の性質、および分布について、注目すべき諸点をまとめておく。

(1) 年代決定

どの広域テフラも遠隔地では単純な一層にみえるが、Table 2 コラム(3)のように、給源近傍では、その噴火に関連するテフラが何層もあることがわかる。それらはそれぞれ噴出・運搬・堆積機構を異にする。しかしそれらのテフラの間には、風化や土壌化を許すほどの長期の時間間隔は認められない。したがってこれらはいずれもごく短時間の噴出物であって、地史や考古学編年上一瞬の「時」を刻むものである。テフラの同定法や年代決定法が多く注目をつめていいるのも、広い地域で厳密な「ある時」をテフラで求められるからにはかならない。

ところで広域テフラの場合、きわめて多数の地点からさまざまな年代資料が得られること、したがってその中から信頼性の最も高い年代値を選ぶことは、特筆されてよい。テフラは種々の放射年代測定法が適用できる物質でもあるので、それらの測定値間のクロス・チェックを可能にする。また単一の方法により求められた個々の測定値につき、信頼性を吟味したり、偏倚の原因を考えたりするのに使える。

多数の ¹⁴C 年代がこれまでに得られ、信頼性の高い

Fig. 3 Radiocarbon ages for the Kikai-Akahoya ash.

As for data source, see Table 3-(3)-1 in Machida and Arai (1980) and Table 1 in Maeda (1980).

Fig. 4 Radiocarbon ages for the Aira-Tn ash.

As for data source, see Table IV-1 in MACHIDA (1977).

噴出年代が求められているのは、K-Ah と AT である。1980 年までに前者は 41 資料、後者は 24 資料が得られている。Fig. 3 と 4 に、それらの年代を、若い値から順に並べてある。

K-Ah の ^{14}C 年は、町田・新井 (1978) によると、6,000 年 B.P. と 6,500 年 B.P. の間に入るとされたが、Fig. 3 からは、さらに集中度のよい 6,300 年 B.P. に落ち着きそうである。また AT のそれは 21,000～22,000 年 B.P. の間に集中する (町田・新井, 1976)。しかし、Fig. 3 では年代値のおよそ 2/3 が最大 2,800 年も、また Fig. 4 でも 2/3 弱が上記最頻値から最大 20,000 年も偏倚するのは、どういう理由によるのであろうか。まず普通に考えられるのは、 ^{14}C 測定の対象となる有機物が、火砕流中にとり込まれた木炭などを除いてテフラ層には介在しないので、噴火時と多少とも時間差をもつ試料である点であろう。図中の矢印はこうした試料の層位的位置から、真の ^{14}C 年の落ち着くべき方向を示してある。一般にテフラが厚く堆積したところでは植生が破壊され、その復活には時間を要するとみられるので、テフラ直上から採取した試料の ^{14}C 年代は若い方へ偏倚するのは当然と思われる。K-Ah の場合、テフラ直上の ^{14}C 資料のうち 8 コが 6,300 年より若く求

められている。 ^{14}C 年代偏倚の第 2 の理由は、試料に別起源の炭素が混入したことである。また試料の種類による偏りについては、図 3 では腐植を試料としたものの偏りが大きく、他試料よりもその年代値の精度は劣るようにみえる。木片のそれは Fig. 3 では一般に最頻値に近いものが多いが、Fig. 4 では著しく偏った値を示すものも多い。このほかにもさまざまな要因が ^{14}C 年の偏りをもたらすと考えられ、Figs. 3, 4 の解釈は簡単ではない。こうしてみると、広域テフラは ^{14}C 測定のモニターの役を果たすといえるであろう。

Table 2 のうち白頭山一苦小牧火山灰 (B-Tm) の噴出年代を与える ^{14}C 測定は、現在 7 点で、しかもそれらは他のテフラ (十和田 a) との層位関係や考古学的遺物との関係から推定される年代より古い。このテフラは時代がごく新しいだけに、考古学的・歴史学的資料によって判定される年代の方を重要視するべきであろう (町田ほか, 1981)。また鬱陵一隠岐火山灰 (U-Ok) の ^{14}C 年代は 5 点の年代値によっている。阿蘇 4 火山灰 (Aso-4) については、12 点の測定資料があるが、いずれも真の年代値より著しく若い (町田ほか, 1982)。このことは ^{14}C 年代測定の方法を越えるような古い年代となると、試料の汚染が深刻に影響することを示唆している。

Fig. 5 Fallout area of the Baegdusan-Tomakomai and Ulreung-Oki ashes.

(2) 岩石記載の性質

Table 2 に示した5テフラのうち、B-Tm と U-Oki の2層はアルカリ長石を含むことで他のサブアルカリ岩質のテフラとははっきりと区別される。この2層の火山ガラスの化学組成もアルカリ含量が高く (U-Oki は $K_2O + Na_2O$ が 12~13 wt% に達し、B-Tm は 8 wt% に達する)、アルカリ岩質マグマの活動によるテフラであることは明らかである。

U-Oki を除くテフラの火山ガラスの屈折率は、Table 2 コラム(5)のように 1.515 より低く、ガラスの SiO_2 含量も 70% 以上に達するので、いずれも流紋岩—デイサイト質テフラだといえる。U-Oki は粗面岩質、B-Tm はアルカリ流紋岩質テフラといえよう。火山ガラスの屈折率だけに注目すると、B-Tm、K-Ah、Aso-4 の3テフラは類似しているが、斑晶鉱物の組み合わせとそれらの屈折率は Table 2 コラム(6)のように全く異なり、容易に区別できる。しかし斑晶含量が僅少となる遠隔地で

は、区別がやや困難となる。その際には僅かながら存在する微斑晶の種類と性質に注目するとともに、ガラスの化学組成を同定の指標にする必要がある。なお同じ広域テフラでも Aso-4 の場合は、元来斑晶含量が多いこととそれらに際立った特徴があるために、給源から 1,400 km 余も離れた地点でも、ガラスのほか角閃石、斜方輝石斑晶の屈折率を測定して同定を確かめることができる (町田ほか, 1982)。

全く類似した岩石記載の性質をもつテフラが、ごく近接した時代に異なった火山から噴出したという可能性はもちろんないわけではない。しかし、そうした議論は、いくつかの地質断面において独立のテフラ層が互いに重なり合うこと、また上位のものは下位のものからの二次的堆積物ではないことが、論証されてはじめて可能となる。たとえば、AT の火山ガラスが真の堆積層から上位に向って拡散して混入していることは普通にみられる。深海底などでは数枚に分れているようにみえること

Fig. 6 Isopach map of the Kikai-Akahoya ash.

もある。しかし、それらは互いに独立のテフラと認められるほど安定して連続してはいないし、全く同一の火山ガラスからなるので、堆積後の条件で見かけ上分散したものと考えられる。AT は単一輪廻の火山活動によるテフラと認めざるを得ない。

火山ガラスの化学組成に関する資料は、最近とみに増えてきた。それらはテフラ同定のクロスチェックに重要であるが、詳細については別に報告する。

(3) 分布

Figs. 5~7 は、Aso-4 を除く 4 広域テフラ分布図である。この種のテフラの分布域は、資料があつまるとにつれ広がっていく。たとえば AT の分布域 (Fig. 7) は、当初描かれたもの (町田・新井, 1976 の図 3) を大きく

上回る地域に広がった。それは主に日本海全域や北西太平洋の深海底堆積物から同テフラが検出できたことによっている (新井ほか, 1981 および未印刷資料)。K-Ah も同様で、Fig. 6 のように日本海南部一帯~朝鮮半島南部、四国海盆から東シナ海東部にまで認められた。今後も深海底や島嶼での資料によって補充されるであろう。

広域テフラは深海底堆積物中では陸上と異なってきたり新鮮に保たれており、コアのうちに層として確認できることが多い。一方陸上の遠隔地におけるテフラの保存は既述のように一般に悪い。Fig. 6 と Fig. 7 に示した等厚線は、陸上ではテフラの保存がよい湖成層や泥炭層中のものを用い、海底ではテフラが比較的厚く認めら

Fig. 7 Isopach map of the Aira-Tn ash.

れたコアの資料を用いて描いてある。したがってある等厚線の走るところは、最大これほどの厚さのテフラが認められうる地域に相当する。これらの厚さは降灰当初のものともあまり変わらないであろう。

K-Ah と AT の分布上の最大の特徴は、Fig. 6 と Fig. 7 のように高空の卓越風向（東方）以外の方向にも広く分布すること、給源近傍でもあまり厚くないこと、粒度も変化に乏しいこと（Fig. 1）などである。こうした分布様式は、普通のプリニアン噴火では例が少なく、Toba テフラ（NINKOVITCH, *et al.*, 1978）や Mazama テフラなどいくつかの広域テフラのそれに似ている。これはこうした coignimbrite ash の噴火・運搬機構にかかわる問題を提示する現象だといえよう。今後の研究課題の一つである。

4. 考古学研究に果す広域テフラの役割

（1）考古学編年上の鍵層としての意義

白頭山—苦小牧火山灰（B-Tm）

このテフラは、日本では東北地方北部から北海道にかけての地域（Fig. 5）で、平安時代後期の土師器・須恵器や擦文土器などの遺物包含層中に薄層として出現する（町田ほか, 1981）。これまでに知られている分布の南縁に近い遺跡は岩手県軽米町吹屋敷Ⅱで、北縁のそれは千歳市末広であるが、これらよりより南方にもまた北方にも分布する可能性は多分にある。その噴出時代は 10 世紀中頃から 13 世紀までの間に入ることは確かだが、まだ特定されていない。また土器の型式編年上での詳しい位置も今後の課題の一つである。さらに朝鮮半島北部の

高麗時代の文化編年および北日本のそれとの関係などの問題にとっても、このテフラは鍵となるにちがいない。

鬼界—アカホヤ火山灰 (K-Ah)

これは九州から東北地方南部にかけての諸地域で、縄文早期～前期の編年に基準面を提供する。町田・新井(1978, 表6)はこのテフラと各地縄文土器との層位関係をまとめた。南九州でのこの資料は、その後多数の発掘により若干訂正された(新東, 1978)。その結果、南九州ではこのテフラの上下の土層から出土する土器ははっきり型式を異にするという。下位から出土する最も新しい土器は塞ノ神式で、上位から出土する古い土器は轟式および曾畑式である。この知見は、後述のように K-Ah が九州の縄文土器文化の変遷にきわめて重大な意味をもつことを示唆している。

九州以東の地域でこのテフラと文化層との関係が確認された例はごく少なく、前述した鳥浜貝塚において羽鳥下層Ⅱ式併行土器包含層またはその直下におけるものと、伊豆大島龍の口遺跡における天神山式土器包含層中に K-Ah が認められた例のみである。今後、数多くの縄文遺跡から K-Ah を確認していくことは、この時期(ヒブツサーマル期)の文化と環境の変遷を考える上で意義深いとおもわれる。

鬱陵—隠岐火山灰 (U-OkI)

鳥浜遺跡では押型土器包含層の下部にこのテフラが介在する。テフラの直下からは山形文、格子目土器が、また直上からは山形文、楕円土器が出土した(鳥浜貝塚研究グループ, 1979, 1981)。他にこのテフラと文化遺物との層位関係が確認された遺跡はまだない。U-OkI 降下当時の古環境については次のような報告がある。鳥浜貝塚における花粉分析では、当時の植生は冷温帯落葉広葉樹林から暖帯常緑広葉樹林への移行相の森林であったこと(鳥浜貝塚研究グループ, 1979)、および大阪港における海成沖積層の分析では、当時の海水準が -33 m 付近であったこと(MAEDA, 1976)などが論じられている。また日本海南部の海底堆積物中の有孔虫分析によれば、U-OkI と K-Ah との中間の層準の時代に対馬暖流が日本海へ流入したことが報ぜられている(新井ほか, 1981)。このテフラはその分布地域(近畿地方を中心とした本州中部)における縄文早期の鍵層として今後大いに利用されるであろう。

始良 Tn 火山灰 (AT)

九州・四国から本州一帯における旧石器包含層からは、ごく普通に検出できるテフラである。最近の知見では朝鮮半島南西部からも見出され(Fig. 7)、いよいよ

その意義が広がりつつある。南関東旧石器文化層における層位は、ODA and KEALLY (1975) の編年では Ic 期にあたる。厳密な時間示標層としての、また災害要因としてのテフラの性質を最大限に活用するためには、K-Ah で述べたように、テフラ堆積の直前と直後の石器文化の内容をはっきりさせる必要がある。これまでに筆者らが観察した資料によると、AT 堆積直前と考えられる文化層は、九州では上場Ⅵ層、岩戸Ⅷ層、曲野Ⅵ層であり、南関東では BBⅡa 相当層(野川Ⅶ層、月見野 B3 層、鈴木Ⅶ層)、北関東では岩宿Ⅰ層、星野Ⅳ層にあたる。AT の土壌化した層から遺物が出土した場合には、凍上などで下層土から混入したとみなせるものを除けば、AT 堆積後に形成された文化の遺物とみなせよう。この種のもは多数にのぼる(例; 百花台Ⅵ, 岩戸Ⅶ, 上場Ⅳなど)。AT の上位から出土する旧石器は小型ナイフを主とするもので、その点数と遺跡数は、下位に比べて格段に多くなる。

また AT 噴火が、K-Ah と対照的に、最終氷期の極相期初期という寒冷期に起ったことは、各地の AT をはさむ地層の古植物学的研究から明らかである(吉田ほか, 1981; SAKAGUCHI, *et al.*, 1982)。このように AT が旧石器時代の文化と自然環境変遷史の研究に果す意義はきわめて大きい。

(2) 先史時代の人類と環境に与えた災害要因としての意義

歴史時代に起った大噴火の中で、AT や K-Ah クラスのテフラを生産した噴火に類するものは、1815 年 4 月 11—12 日の Tambora 火山(インドネシア、スンバワ島)の噴火であろう。この噴火では海底まで流入した大火砕流と東南アジア一帯の空をおおった降下テフラを噴出した。全体積はおよそ 150 km³ といわれている(VERBEEK, 1884)。この噴火による自然と人間の被災は甚大で、火砕流による植生の破壊と埋没(現在でもランドサット画像から森林未回復の地域が火山の東方で広いことが読みとれる)、降下火山灰による埋没、火山体の破壊・陥没、大気中へ多量のエアロゾルを注入した結果数年間気候の寒冷化を招来したことなど、枚挙に暇がない。このとき噴火後の餓死者を含む死者は 92,000 人に達したという。

この事例から知られるように、ここで対象とするような広域テフラの噴火は、高頻度で発生する effusive または中間型の噴火に比べて、より広域により深刻な影響を与える現象である。南九州や中九州の大カルデラ周辺に広がる火砕流台地の地域では、K-Ah や AT、さらに

Aso-4 などに関係する大火砕流の噴出によって、地形そのものが大きく変貌した。また降下テフラが堆積して、植生が壊滅的打撃を受けたとみられる地域は、普通のテフラ噴火に比べて桁ちがいに広がったであろう。そのため植生を中心とする生態系の回復にはかなりの長時間を要したに相違ない。このような点からみると、広域テフラの噴火は、ユーゲ海のミノア文明に対するサントリーニ火山の大噴火の影響 (RENFREW, 1979) に代表されるように、先史時代の人類にとっては、一つの文化の交代を余儀なくさせるような意味をもつ大事件であった可能性が大きい。

しかし、個々の事例について、こうした巨大噴火がどの範囲の地表生態系の変貌と形成に関与したか、どれほどの期間影響がつづいたか、人類文化はどのような打撃を受けたか、などについての研究は、まだ不足するところが多い。この種の研究は、火山学、地形学、地質学、考古学、古生態学など多方面からの追究にまたねばならないのである。

縄文文化に対する K-Ah 噴火の影響

既述のように、南九州における K-Ah は、その上・下位で産出する縄文土器の型式を異にするという、縄文文化史上特異な層位を占めることがわかってきた(新東, 1978)。今後さらに広い地域で K-Ah と遺物との層位関係について詳しい観察が必要であるが、現段階では中九州(大分)でも南九州と同様な資料が得られつつある(横尾貝塚など)。このことは K-Ah 噴火が人類とその環境に与えた影響について、次のような仮説を組み立てることを可能にするように思われる(町田, 1982)。

K-Ah の直下から出土する土器のうち、押型文土器を除く平桶式、前平式、吉田式、石坂式などの土器群は、貝殻腹縁文が施こされた、尖底、深鉢タイプのもの(九州貝殻文系土器)で、南九州に分布の中心をもつ(賀川, 1965)。またこの系譜をひいた平底、円筒形～方形、筒形をなす塞ノ神式土器も九州に独特の土器型式といわれている。これらの土器群は西日本に広く分布する押型文土器とともに、確実に K-Ah の上位から出土したという報告を未だ聞かない。一方、これらにとって代って九州各地で K-Ah の上位から出土する 轟式土器は、東日本にルーツをもつ貝殻条痕文土器の系譜をひくと考えられているし、曾畑式土器は朝鮮半島の櫛目文土器文化の系統をひくと考えられていた土器である(江坂, 1952; 1955)。すなわち、K-Ah の直上を占める土器文化は九州に起源するものではなく、外来の文化である可能性がある。

こうした土器文化の交代が事実であるなら、それは K-Ah の噴火で南九州の人類と環境が壊滅的打撃を受けた可能性を大きく浮び上らせる。「人口は噴火の直接的ないし間接的影響で大幅に減少した。火砕流に直撃されなかったが、ひどい降灰に見舞われた地域の人びとは、食糧を求めて被災が僅かであった北西九州などに分散し、南・中九州の土器文化は一旦途端えた。そして緑が回復した数百年後、南・中九州は他地域から渡来した文化の勢力圏に入った。」このような状況が現段階では推理できそうである。

一方、西日本各地では、植生、山地斜面あるいは河川が K-Ah の降下堆積によって荒廃したことを示唆するいくつかの手がかりがある。すなわち、紀伊山地や広島ふきんの山地では、K-Ah が山崩れ堆積物に直接おおわれたり、またその中にブロックとなってとり込まれている様子がいくつかの地点で観察される。これは K-Ah の堆積(これらの地域では厚さ 20 cm 強)によって、植生の大半は被害をうけ、山地ははげ山に近い状態となって大雨のたびに山崩れが発生したという図式を想定させる。また高知平野、徳島平野、さらに鹿児島県各地の沖積平野の試錐コアや露頭では、K-Ah そのものが沖積層中に著しく厚く(数 m 以上に達して)堆積していることがわかる。これは各河川流域の地表をくまなくおおった火山灰が、出水の度に下流部へ運搬されて河床や浅海底に集積したことを暗示する。西日本各地の河川は、K-Ah 噴火後かなり長期に亘って不安定であったにちがいない。

K-Ah 噴火が九州をはじめとする西日本各地の自然と縄文文化に与えた影響を正しく評価するには、得られた資料はまだごく断片的である。今後、土器群の特性や層位、その放射年代はもとより、人びとの生活をささえる土地の生産力の消長に関する諸資料が充実し、地域ごとに総合的な議論ができる日のくることを期待したい。

噴出物の体積や分布の広さからいって、K-Ah を上回る規模をもつ AT の場合には、より広域にわたる旧石器文化への影響が予想される。AT 噴火当時の古環境が K-Ah の場合と著しく異なっていたので、噴火・降灰の人類生態系へ与えた影響の程度は両者の間でかなり相違したにちがいない。

巨大噴火が先史時代の人類生態系へいかに影響したかという問題を解く鍵は、けっして豊富ではなからう。ごく僅かな手がかりからこれに接近する場合には、ともすれば自然現象の側のみ決定権があったと考え勝ちになる。先史時代においては、後代よりもはるかに、噴火と

いう突発的事件が人間と自然に大きな影響を与えたであろうが、それがすべてを左右したわけではないし、また影響のしかたも地域により異なっていたにちがいない。具体的な一つ一つの遺跡や露頭から、人びとの受けた打撃の大きさや対応のしかた、当時の自然環境の変貌などを、一つでも多く汲みとるとともに、それらを総合的にとらえたいものである。

む す び

本稿で述べたことの要約と今後究めるべき若干の問題点を述べてむすぶことにする。

1. 鬼界アカホヤ火山灰や始良 Tn 火山灰に代表される広域テフラの多くは、巨大火砕流の噴出と同時に形成された降下火山灰である。それらは多量の珪長質マグマの、しかも粉碎度のきわめて大きな爆発的噴火に由来する。こうした噴火は広域に及ぶ降灰のみならず、巨大カルデラや火砕流台地の形成をとまらう。K-Ah や AT などにみられる降下火山灰の分布上の特色は、分布主軸がやや不明瞭で、火口から種々の方向に拡げていること、厚さや粒度の距離に対する変化はきわめて小さいことなどである。

従来わが国では、テフラは編年上の優秀な時間示標層であるという側面がことさらに重視されてきた。このためもあって、テフラ噴火—ことに広域テフラをもたらす巨大噴火—の機構とそれが地表生態系に与えた影響についての研究は遅れている。今後注目すべき研究分野の一つである。

2. 広域テフラの同定にあつては、その構成物の岩石記載的諸性質をとくに重要視する必要がある。ことに鉱物レベルでの、屈折率の測定や化学組成の分析は、高精度の同定を可能にする。遠隔地においては、本質斑晶が少なくなるため、主要構成物である火山ガラスの性質をより多くの手法を用いて解明することが望まれる。一方、考古学遺跡などで肉眼上テフラの認定ができない風化土層から特定テフラを検出するには、そのテフラを特色づける火山ガラスや本質斑晶の含量の垂直的变化を調べ、含量の極大層準を捜す。

3. 広域テフラの噴出年代は、広域から多数の年代資料が得られ、それらからより高精度のものを選ぶことによって決定される。こうした特質は、厳密に同定されたテフラが種々の年代決定法のモニターとなることを示している。

4. 本稿で対象とした広域テフラは、九州のカルデラ火山起源の 3 層 (鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah)、始良

Tn 火山灰 (AT)、阿蘇 4 火山灰 (Aso-4)、と韓半島の火山起源のアルカリ岩質の 2 層 (白頭山—苦小牧火山灰 (B-Tm)、鬱陵—隠岐火山灰 (U-Oki)) である。それらの諸性質は Table 2 に、阿蘇 4 火山灰を除く 4 層の分布は Fig. 5~7 に示した。これらのうち、K-Ah は九州〜東北地方南部にかけての地域で縄文早期〜前期編年に、また AT は日本の大部分の地域における旧石器時代の編年に基準層となる。これらに比べると B-Tm と U-Oki が鍵を提供する範囲はやや狭いが、それぞれ平安時代の北日本と縄文早期の中日本の編年に役立つ。またこれらは朝鮮半島などにも分布するので、将来これらの地域の編年にも役立つであろう。

5. 広域テフラをもたらした噴火は広い地域の生態系を変貌させ、人類文化に大きな影響を与えたと考えられる。一例として K-Ah を対象にした。九州において K-Ah の下位と上位とで埋もれている土器文化が異なることは、この巨大噴火を契機に文化の交代があったことを想起させる。また降灰による地表の荒廃を示唆する資料も得られつつある。しかし、この種の研究は方法論の上でも資料の面でも未熟である。

テフラ噴火と人類、自然環境にまたがる研究は、古く発生したにもかかわらず、まだ若い。それは、火山学と考古学および隣接諸科学の谷間にこの研究が位置していたことに由来するのであろう。今後学際的研究が積極的にすすめられることが期待される。

引用文献

- 新井房夫 (1972) 斜方輝石・角閃石の屈折率によるテフラの同定——テフクロノロジーの基礎的研究——。第四紀研究, 11, p. 254—269.
- 新井房夫 (1978) 火山灰同定の方法と日本の広域火山灰。どるめん, 19, p. 18—30.
- 新井房夫・町田 洋・杉原重夫 (1977) 南関東における後期更新世の示標テフラ層——特性記載とそれに関連する諸問題——。第四紀研究, 16, p. 19—40.
- 新井房夫・町田 洋 (1980) 日本のテフラ・カタログ I——西日本〜東北地方の第四紀後期示標テフラの岩石記載的研究——。軽石学雑誌, no. 6, p. 65—76.
- 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古環境——テフクロノロジー、有孔虫群集解析、酸素同位体比法による——。第四紀研究, 20, p. 209—230.
- BORCHARDT, G.A., HARWARD, M.E. and SCHMITT, R.A. (1971) Correlation of volcanic ash deposits by activation analysis of glass separates. *Quat. Res.* 1, p. 247—260.
- 江坂輝弥 (1952) 日本始原文化の起原問題。古代学, 1—2, p. 85—97.

- 江坂輝弥 (1955) 條痕文土器文化の展開. 史想, **2**, p. 1—12.
- 早津賢二・新井房夫 (1982) 妙高火山群テフラ地域南部の最新世テフラ層——示標テフラ層の記載とそれに関係した2・3の問題. 第四紀研究, **21**, p. 1—13.
- HEIKEN, G. (1972) Morphology and petrography of volcanic ashes. *Bull., Geol. Soc. Amer.*, **83**, p. 1961—1988.
- 賀川光夫 (1965) 縄文文化の発展と地域性——九州東南部. 鎌木義昌(編) 縄文時代, 河出書房, p. 268—284.
- KELLER, J., RYAN, W. B. F., NINKOVICH, D. and ALTHERR, R. (1978) Explosive volcanic activity in the Mediterranean over the past 200,000 yr as recorded in deep-sea sediments. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **89**, p. 591—604.
- KITTLEMAN, L. R. (1979) Geologic methods in studies of Quaternary tephra. In: Sheets, P. and Grayson, D.K. (eds.), *Volcanic activity and human ecology*, Academic Press, p. 49—82.
- 倉沢 一・石川秀雄・新井房夫・LEEMAN, W.P. (1983) 桜島・始良噴出物のSr同位体比とマグマ進化のcombined processes(演旨). 火山(第2集), **27**, p. 344—345.
- 町田 洋 (1977) 火山灰は語る. 蒼樹書房, 東京, 324 p.
- MACHIDA, H. (1981) Tephrochronology and Quaternary studies in Japan. In: Self, S. and Sparks, R.S.J. (eds.), *Tephra Studies*, D. Reidel Publ. Comp., Holland, p. 161—191.
- 町田 洋 (1982) 火山活動. 加藤晋平, 小林達雄, 藤本強(編) 縄文文化の研究 I, 縄文とその環境, 雄山閣, 東京, p. 114—129.
- 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**, p. 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**, p. 143—163.
- 町田 洋・新井房夫 (1980) 日本各地の沖積層とアカホヤ火山灰. 井関弘太郎(編) 完新世における旧海水準の認定とその年代に関する研究(昭和53・54年度科研費報告書) p. 143—145.
- 町田 洋・新井房夫・森脇 広 (1981) 日本海を渡ってきたテフラ. 科学, **51**, p. 562—569.
- 町田 洋・新井房夫・百瀬 貢 (1982) 阿蘇火山灰の分布と層位・年代(演旨). 火山(第2集), **27**, p. 151—152.
- MAEDA, Y. (1976) The sea level changes of Osaka Bay from 12,000 BP to 6,000 BP. *J. Geosci., Osaka City Univ.*, no. 20, p. 43—58.
- 前田保夫 (1980) 縄文の海と森. 蒼樹書房, 東京, 238 p.
- MOMOSE, K., KOBAYASHI, K., MINAGAWA, K. and MACHIDA, M. (1968) Identification of tephra by means of ferromagnetic minerals in pumice. *Bull. Earthq. Res. Inst.* **46**, p. 1275—1292.
- NINKOVICH, D., SHACKLETON, N. J., ABDEL-MONEM, A. A., OBRADOVICH, J. D. and IZETT, G. (1978) K-Ar age of the late Pleistocene eruption of Toba, North Sumatra. *Nature*, no. 276, p. 574—577.
- 岡田 清・小坂文予(1983) 造岩鉱物の格子常数値を利用した火山灰層の対比の試み. 火山(第2集) **27**, p. 261—275.
- ODA, S. and KEALLY, C. T. (1975) Japanese pre-ceramic cultural chronology. *Occasional Papers, IGU Archaeol. Res. Center*, 2.
- RAMPINO, M. R., SELF, S., and FAIRBRIDGE, R. W. (1979) Can rapid climatic change cause volcanic eruptions? *Sci.* **206**, p. 826—829.
- RENFREW, C. (1979) The eruption of Thera and Minoan Crete. In: Sheets, P. D. and Greyson, D. K. (eds.), *Volcanic activity and human ecology*. Academic Press, p. 565—586.
- ROSE, W. I., Jr., HAHN, G. A., DREXLER, J. W., MALINCONICO, M. L., PETERSON, P. S. and WUNDERMAN, R. L. (1981) Quaternary tephra of northern central America. In: Self, S. and Sparks, R. S. J. (eds.) *Tephra Studies*, D. Reide Publ. Company, Holland, p. 193—211.
- SAKAGUCHI, Y., ARAI, F. and SOHMA, H. (1982) On deposits of the Ozegahara basin—A contribution to late Quaternary evolution of the largest raised bog in Japan and its paleo-environments. *Ozegahara: Scientific Researches of the Highmoor in Central Japan*, p. 1—29.
- 新東晃一(1978) 南九州の火山灰と土器形式. どんめん, **19**, p. 40—54.
- 庄子貞雄・小林進介・増井淳一 (1974) 火山灰中の強磁性鉱物の化学組成と噴出源との関係について. 岩鉱, **69**, p. 110—120.
- SPARKS, R. S. J. (1976) Grain size variations in ignimbrites and implications for the transport of pyroclastic flows. *Sedimentology*, **23**, p. 147—188.
- SPARKS, R. S. J. and WALKER, G. P. L. (1977) The significance of vitric enriched airfall ashes associated with crystal-enriched ignimbrites. *Jour. Volcanol. and Geotherm. Res.*, **2**, p. 329—341.
- THUNELL, R. C., FEDERMAN, A. N., SPARKS, R. S. J. and WILLIAMS, D. F. (1979) The age, origin, and volcanological significance of the Y-5 ash layer in the Mediterranean. *Quat. Res.*, **12**, p. 241—253.
- 鳥浜貝塚研究グループ(1979) 鳥浜貝塚. 福井県教育委, 216 p.
- 鳥浜貝塚研究グループ (1981) 鳥浜貝塚, 2. 福井県教育委, 135 p.
- VERBEEK, R. D. M. (1884) The Krakatau eruption. *Nature*, no. 30, p. 10—15.
- WALKER, G. P. L. (1979) A volcanic ash generated by explosions where ignimbrite entered the sea. *Nature*, no. 281, p. 642—646.
- WALKER, G. P. L. (1980) The Taupo pumice: product of the most powerful known (ultraplinian) eruption? *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **8**, p. 69—

94.
WALKER, G.P.L., HEMING, R.F., and WILSON, C.J. N. (1980) Low-aspect ratio ignimbrites. *Nature*, no. 283, p. 286—287.
- WESTGATE, J. A. and GORTON, M. P. (1981) Correlation techniques in tephra studies. In : Self, S. and Sparks, R.S.J. (eds.), *Tephra Studies*, p. 73—94.
- 吉田 義・伊藤七郎・白瀬智男・堀内俊秀・真鍋健一・鈴木敬治・竹内貞子・野中俊夫・楡井良政・楡井典子 (1981) 阿武隈山地中央部における第四系と植物化石群——最終氷期における東北南部の植生変遷の一例——. 第四紀研究, **20**, p. 143—164.