

## 紀伊半島四万十累層群の上部白亜系竜神累層に挟まれる酸性凝灰岩の フィッション・トラック年代とその意義

Fission-track ages and their significance of acidic tuff in the Upper Cretaceous Ryujin Formation of the Shimanto Supergroup, Kii Peninsula, Southwest Japan

### Abstract

木村克己\* 別所孝範\*\*  
坂本隆彦\*\*\* 公文富士夫\*\*\*\*  
鈴木博之\*\*\*\*\*

*Katsumi Kimura\**, *Takanori Bessho\*\**,  
*Takahiko Sakamoto\*\*\**, *Fujio Kumon\*\*\*\**  
and *Hiroyuki Suzuki\*\*\*\*\**

1995年8月28日受付.

1995年12月25日受理.

\* 地質調査所地質部,  
Geology Department, Geological Survey of  
Japan, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

\*\* 大阪府立八尾東高等学校,  
Yao-Higashi High School, Yao, Osaka 581,  
Japan

\*\*\* 大阪府立南寝屋川高等学校,  
Minami-Neyagawa High School, Neyagawa, Osaka 572, Japan

\*\*\*\* 信州大学理学部地質学教室,  
Department of Geology, Faculty of  
Science, Shinshu University, Asahi,  
Matsumoto 390, Japan

\*\*\*\*\* 同志社大学理工学研究所,  
Science and Engineering Research  
Institute, Doshisha University, Tanabe,  
Tsuzuki, Kyoto 610-03, Japan

Fission-track ages of zircon were determined with the grain-by-grain external detector (ED1) method for two samples of coarse acidic tuff (CH-1 and CH-2), which were collected from the Chibiki-yama acidic tuff unit in the lower Ryujin Formation of the Cretaceous Shimanto Supergroup, Kii Peninsula. The formation is of Late Campanian to Maastrichtian age based on the radiolarian fossil zone. CH-1 is a coarse pumiceous crystal tuff, and CH-2 is a coarse vitric crystal tuff. These specimens include three types of zircons; A group is characterized by euhedral form without abrasion, B group is euhedral but less abraded, and C group is much abraded and purplish. These characteristics of zircons indicate that A group is essential, while the others are detrital. A and B groups are major constituents and were selected for fission-track dating. The results demonstrate no significant difference in frequency distribution of grain age between both groups. Fission-track dating for essential zircons gave ages of  $69.8 \pm 3.7$  Ma (CH-1), and  $67.5 \pm 3.4$  Ma (CH-2). The FT ages of the tuff are within the age range of the radiolarian fossil zone of the Ryujin Formation, and indicate that the lower Ryujin Formation is of Late Maastrichtian age. The age constraint, in addition to previous geologic data, suggests that the coarse acidic tuff was derived from the simultaneous rhyolite pyroclastic rocks such as the Nohi Rhyolite and Suyama Pyroclastic Rocks distributed in the Chubu District of Southwest Japan.

*Key words* : fission-track dating, zircon, Maastrichtian, Shimanto Belt, Ryujin Formation, acidic tuff, Nohi Rhyolite

### はじめに

四万十累層群はアジア大陸東縁に成長した白亜紀-前期中新世の付加コンプレックスと、それに随伴する前弧盆堆積物からなり、特に粗粒砕屑物に富むという特徴がある。その中でも白亜紀の粗粒砕屑物の起源については、酸性火山岩起源の礫や岩石片が普遍的に含まれていること、酸性凝灰岩がしばしば挟まれていることから、これらの粗粒砕屑物の多くは西南日本内帯で広範囲に分布している後期白亜紀の酸性火成岩類に由来するものと考えられてきた(小井土, 1975; Kumon, 1983)。西南日本内帯での、この火成活動の時期については、K-Ar, フィッション・トラック(以後FTと呼ぶ)法などによる放射年代値が明らかにされてきている(例えば、原山ほか, 1985; 飯泉ほか, 1985; 田結庄ほか, 1985)。しかし、これまで四万十累層群中に見いだされた酸性凝灰岩の年代については、その周囲に分布する泥岩から得られた放射虫化石群集の化石年代に基づくものであった。後期白亜紀

の放射虫化石群集の年代レンジが比較的広いため、西南日本内帯の酸性火山岩類の詳細な放射年代との対比は十分にはできていない。

紀伊半島の白亜系四万十累層群の中で、竜神累層には酸性凝灰岩が最も多量に挟在しており、しかも厚層をなす粗粒凝灰岩の存在が知られている(徳岡ほか, 1981, 1982; 柳井, 1983; 坂本・別所, 1992)。今回竜神累層中の粗粒凝灰岩について、四万十累層群からは初めてジルコンのFT年代を得ることができた。本論ではその結果を示すとともに、年代値の意味について吟味するために、堆積後の被熱によるアニーリングの影響、外来ジルコンの混入の可能性、酸性凝灰岩の堆積過程について検討する。そして、その上で白亜紀最後期という今回得た酸性凝灰岩のFT年代の地質学的意義について考察する。

なお、FT法による年代測定は(株)京都フィッション・トラックに依頼した。

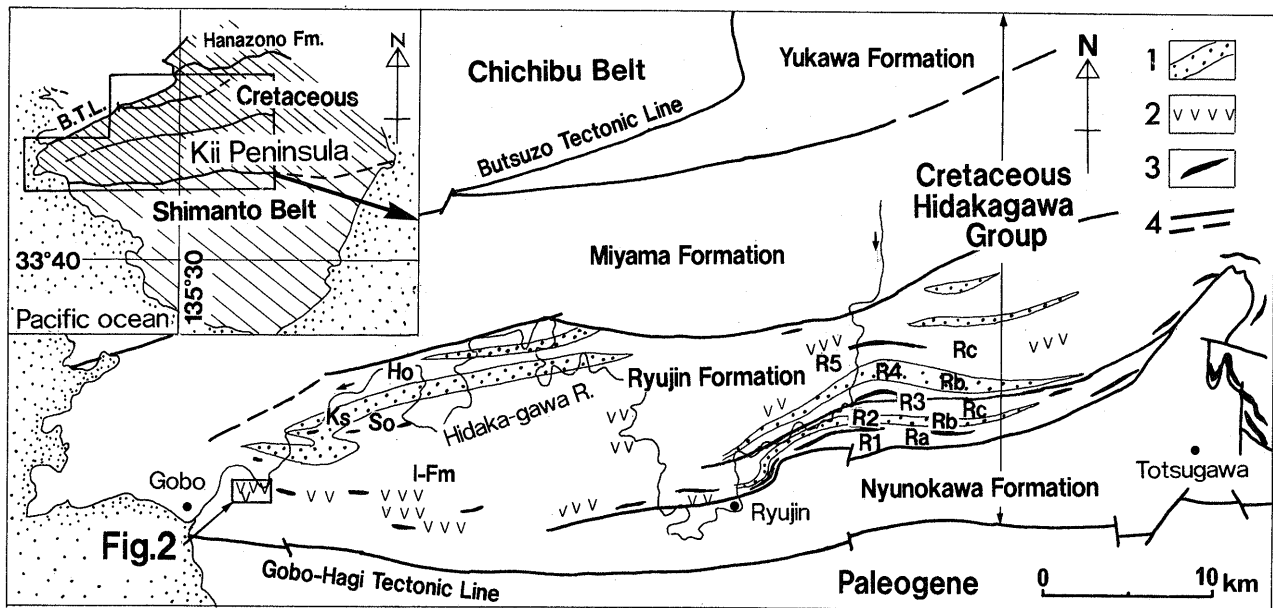


Fig. 1. Schematic geologic map of the Cretaceous Shimanto Belt, western Kii Peninsula, Southwest Japan.

1-3: lithology of the Ryujin Formation (1: sandstone, 2: acidic tuff, 3: greenstones); 4: fault and inferred fault; B.T.L.: Butsuzo Tectonic Line. Member divisions of the Ryujin Formation are as follows: I-Fm: I-Formation; So: Sai olistostrome; Ks: Kamiyama sandstone; Ho: Haikusu olistostrome (after Yanai, 1984), R1-R5 (after Kishu Shimanto Research Group, 1977), Ra, Rb and Rc (after Kimura, 1986).

## 地質概説

紀伊半島の四万十累層群は、御坊-萩構造線によって、北側の白亜系日高川層群と南側の古第三系とに区分されている (Fig. 1, 紀州四万十帯団体研究グループ, 1975). 日高川層群は、断層で境され東西に帯状配列をなす5つの累層、北から順にコニアシアン-カンパニアンのはなぞの花園累層、オーテリビアン-チューロニアンのかかわ湯川累層、チューロニアン-前期カンパニアンのかまの美山累層、後期カンパニアン-マストリヒチアンの竜神および丹生ノ川の両累層から構成される (Fig. 1, 栗本, 1982; 紀州四万十帯団体研究グループ, 1986; 公文ほか, 1986; Kumon et al., 1988). なお、同一の放散虫化石群集時代を示すことから、竜神累層とその南にスラストを境にして隣接する丹生ノ川累層は、同時異相の関係にある可能性が指摘されている (木村, 1986).

今回検討を行った酸性凝灰岩を含む竜神累層は、主に黒色頁岩と、頁岩優勢の砂岩頁岩互層とからなり、砂岩優勢の砂岩頁岩互層や酸性凝灰岩、緑色岩類を伴う。竜神累層の層序については、紀州四万十帯団体研究グループ (1977) が紀伊半島中央部の和歌山県龍神村付近において、本累層を2層の砂岩部層を鍵に R1-R5 の5部層に区分したが、その後、木村 (1986) は鍵層とされた砂岩部層がスラストにより繰り返すと考えて、従来の層序を改訂し、Ra, Rb, Rc の3部層に区分した (Fig. 1). 一方、和歌山県御坊市東部から中津村にかけての地域 (紀伊半島西部地域) について、Yanai (1984) は、I層、佐井オリストストローム層、後山砂岩層、早蘇オリストストローム層の4層に区分した (Fig. 1).

今回報告する粗粒酸性凝灰岩は、Yanai (1984) の I 層上部

の層準に含まれており、龍神村地域における紀州四万十帯団体研究グループ (1977) の R3 ないし R5 層、または木村 (1986) の Rc 層下部に相当する (鈴木, 1992; 紀州四万十帯団体研究グループの未公表資料).

FT 年代測定を行った2つの岩石試料 (CH-1, CH-2) は、いずれも和歌山県日高郡川辺町下和佐の西方に位置する千疋山 (高さ 127 m) 付近に分布する、厚さ 300 m 以上の酸性凝灰岩を主とするユニット (坂本・別所, 1992 により千疋山酸性凝灰岩と命名された) から採取された (Fig. 2). 同ユニットは側方に 2 km 以上追跡され、急速に尖滅する。岩相は主に凝灰質砂岩と酸性凝灰岩とからなり、頁岩や頁岩優勢の砂岩頁岩互層などを挟む (Figs. 2 and 3). 酸性凝灰岩には、淡緑色の軽石質結晶凝灰岩 (pumiceous crystal tuff), 軽石を含む暗緑色のガラス質結晶凝灰岩 (vitric crystal tuff), 淡白色のガラス質凝灰岩 (vitric tuff) が見られる。前二者は、粗粒で、一般に厚さ 1-5 m に成層し、内部堆積構造としては塊状部が卓越し、単層の上部に級化構造や平行葉理が認められる。後者は、細粒で、厚さ 5 cm-1 m に成層し、凝灰質頁岩と互層する部分もある。級化構造や平行葉理、斜交葉理が発達する。これらの堆積構造の特徴は、これらの凝灰岩が周辺の砂岩と同様にタービダイトであることを示している。

CH-1 は、見山西方の野口配水池付近に露出する、単層の厚さ約 5 m の軽石に富む軽石質結晶凝灰岩から採取された (Figs. 2 and 3). 坂本・別所 (1992) は、同凝灰岩について内部堆積構造・粒度・軽石含有量などを詳細に記述している (坂本・別所, 1992 の Fig. 3 を参照). CH-2 は、千疋山北東麓の道路切り割りに露出する、単層の厚さ 2 m のガラス質結晶凝灰岩から採取された (Figs. 2 and 3). 両試料の採取地点

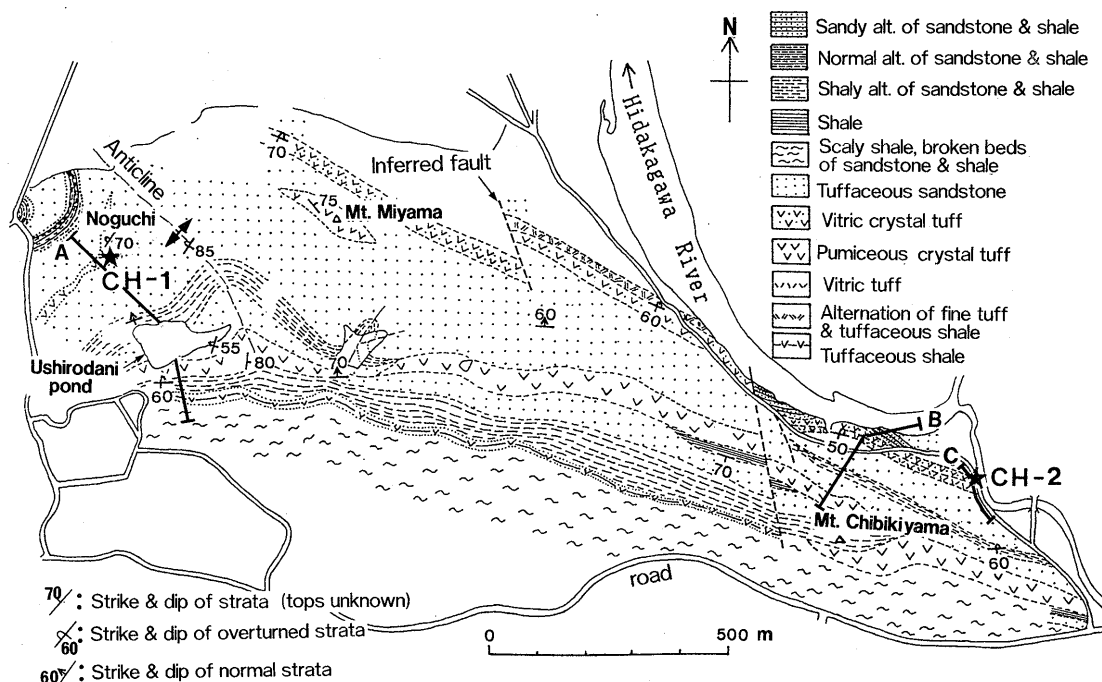


Fig. 2. Geologic map in the Chibiki-yama area, showing the Chibiki-yama acidic tuff unit in the Ryujin Formation (after Sakamoto and Bessho, 1992). See Fig.1 for location. Three traces (A, B and C) indicate routes of lithologic columns in Fig. 3. Star symbols show localities of the dated samples.

は、ほぼ同一層準に対比できる (Fig. 2).

#### 試料の岩質的特徴

Fig. 4 に年代測定を行った酸性凝灰岩の顕微鏡写真を示す。

両岩石試料はともに、軽石片、ガラス片、結晶破片などの本質火砕物質に富み、わずかに異質岩片、頁岩偽礫や炭質物片を含む。これらは以下の共通した特徴を示す。

軽石片は気泡が伸張したチューブ型のものが多く (Fig. 4), 融食形ないし自形の斜長石・石英の斑晶を少量含む。火山ガラス片は、完全に脱ガラス化し微細な珪長質鉱物に変わっていたり、緑泥石・雲母粘土鉱物・アナルシムに変質している。アナルシムの存在は XRD で確認した。しかし、ガラス片には、三日月・Y 字そして平板の各型、および気泡を含む微小軽石片などの火山ガラス特有の形態がしばしば保存されている。20 $\mu$ m 以下のサイズを基質としたが、基質はほとんどが珪長質鉱物の微晶や粘土鉱物などの変質鉱物からなり、しばしば上述の火山ガラス片の構造を保有している。そのため基質のほとんどが微小ガラス片から変質したものと推定される。岩石片は隠微晶質基質と斜長石や石英の斑晶を含む火山岩組織、凝灰岩に特徴的なビトリック (vitric) 組織または真珠 (perlithic) 組織などをもつ珪長質火山岩類が大半を占め、その他には、わずかに中性ないし苦鉄質火山岩類、花崗岩質岩類、そしてチャート・頁岩などの堆積岩類なども認められる。結晶粒子には破片化し角張った外形を呈するものが多く、融食痕や自形の結晶形も認められる。

平均粒径はポイントカウント法により、軽石片を除く 100 ポイントを鏡下で測定し、それらの算術平均により求め、

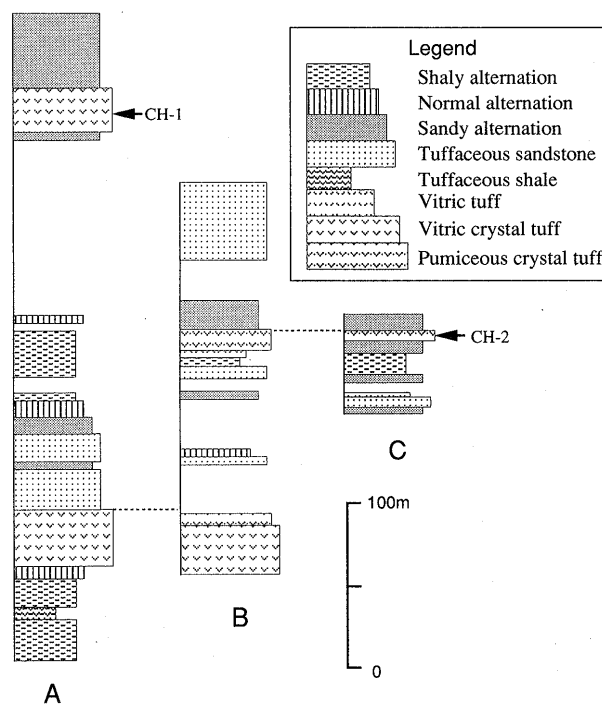


Fig. 3. Lithologic columns of the Chibiki-yama acidic tuff unit in the Ryujin Formation. Arrows show the horizons where the dated samples (CH-1 and CH-2) were collected. See Fig. 2 for routes of the columns (A, B and C).

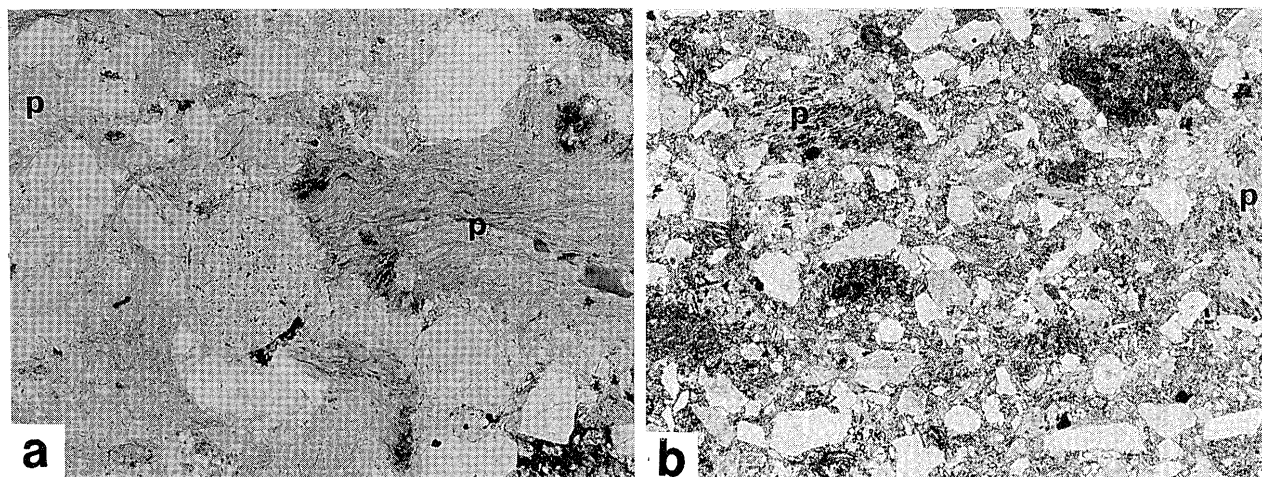


Fig. 4. Photomicrographs of the dated samples.

a) CH-1: pumiceous crystal tuff, b) CH-2: vitric crystal tuff. P: pumice. Plane-polarized light. Scale bar is 1 mm long.

モード組成は同方法により、500 ポイントを鏡下で観察して求めた。いずれも測定した岩石薄片（両試料ともに1枚）は層理に平行なものを用いた。凝灰岩の分類・命名にあたっては、ガラス片・結晶片・岩石片の3成分モード比とガラス片・結晶片の2成分モード比による分類図（例えば、Pettijohn, 1975）に基づいた。なお、基質成分はすべてガラス片とし、Schmid (1981) に従い、ガラス成分には軽石片を加えて算定した。ガラス片の内、軽石片が卓越する場合は軽石質と呼ぶ。

**CH-1**: 淡緑色を呈し、径数 mm-3 cm 大の軽石火山礫に富む、平均粒径 0.50 mm の粗粒軽石質結晶凝灰岩である。モード組成では、結晶破片 (36.6%)、軽石片 (22.4%)、岩石片 (19.9%)、基質 (16.6%) である。基質の内、火山ガラスの形態が認められるものは 4.5% である。結晶破片は径 0.1-1.7 mm で、その中では斜長石 (22.4%)、石英 (11.2%)、カリ長石 (3.0%) の順に多く、わずかに黒雲母、自形無色のジルコン結晶が含まれる。岩石片は径 0.1-2 mm で、岩種としては多い順に酸性火山岩 (12.3%)、中性火山岩 (4.1%)、凝灰岩 (1.3%)、花崗岩質岩 (0.9%) などが認められる。軽石片は最大 3 cm 大のものを含むが、径 1-2.5 mm のものが卓越する。

**CH-2**: 灰緑色を呈する、平均粒径 0.31 mm の粗粒ガラス質結晶凝灰岩である。モード組成では結晶破片 (27.9%)、軽石片 (7.2%)、岩石片 (16.7%)、基質 (48.2%) である。基質の内、火山ガラスの形態が認められるものは 12.6% である。火山ガラス片には光学的に等方性の鉱物であるアナルシムに変質しているものがある。結晶破片は径 0.1-1 mm で、斜長石が 17.4% と最も多く、次に 8.2% の石英、2.3% のカリ長石と続く。その他では、わずかに黒雲母、ジルコンが含まれる。岩石片（径 0.1-1.3 mm）の中では、酸性火山岩が 12.8% と最も多く、その他に脈岩類、中性火山岩、凝灰岩、花崗岩質岩がわずかに認められる。軽石片は最大で 3 mm 大のものが認められるが、一般には径 0.5-1.5 mm である。

#### FT 年代の測定方法および測定結果

今回の測定結果を Table 1 に示す。

フィッシュン・トラック (FT) 年代の測定法の概要は以下のとおりである。なお、測定手法の詳細は Danhara et al. (1991) に示されているので参照されたい。FT の測定は grain by grain による、結晶内部面を用いた外部ディテクター法 (ED1; Gleadow, 1981) を利用した。結晶内部面を用いたのは、結晶の外部面に外部効果の可能性を示す短いトラックが認められたためである。試料のエッチングは、KOH: NaOH=1:1 (モル比)、225°C の共融液を用いて 26 から 27 時間行われた。熱中性子照射は立教大学原子力研究所においてなされた。

各岩石試料 1 kg の粉碎によって、ジルコン粒子が CH-1 で約 500 個、CH-2 では約 300 個それぞれ抽出された。これらは主に自形性・磨耗度・色の特徴に基づいて、両試料ともに、A, B, C の3つのグループに識別できる。A グループは自形性が良く淡赤褐色を示す。B グループは自形性が比較的良好だが結晶の稜がやや磨耗されており淡褐色を示す。C グループは全体に円磨され紫色を呈している。結晶の自形性と磨耗度とから、A グループは本質結晶、C グループは碎屑性の異質結晶、B グループは異質結晶の可能性が高いものと判断できる。A, B, C の各グループの含有率は、およそ CH-1 で 90%-10%-1% 未満、CH-2 では 30%-69%-1% の割合となった。

FT 年代の測定用粒子として、ジルコン粒子 30 個を抽出したが、その内訳は CH-1 では A グループ 26 個、B グループ 4 個、CH-2 では A グループ 27 個、B グループ 3 個である。酸性凝灰岩の年代を得るには、本質結晶のジルコンを選択すべきであり、FT 年代としては A グループのジルコンの計数値から求める。しかし、今回は CH-2 試料では半分以上を占める B グループのジルコンの起源について検討するために、A グループだけでなく、B グループのジルコンも 3 ないし 4 個

**Table 1.** Result of fission-track dating for zircons of two acidic tuff (CH-1 and CH-2) collected from the Chibiki-yama acidic tuff unit in the Ryujin Formation.

Sample	n	$\rho s$ ( $\times 10^6 \text{cm}^{-2}$ )	Ns	$\rho i$ ( $\times 10^6 \text{cm}^{-2}$ )	Ni	$\rho d$ ( $\times 10^4 \text{cm}^{-2}$ )	Nd	P( $\chi^2$ ) (%)	r	T $\pm \epsilon t$ (Ma)
CH-1										
A group	26	8.82	3002	1.88	641	8.10	1247	63	0.862	69.8 $\pm$ 3.7
B group	4	15.50	686	3.59	159	8.10	1247	46	0.560	64.3 $\pm$ 6.0
CH-2										
A group	26	9.20	3281	2.03	725	8.11	1249	17	0.853	67.5 $\pm$ 3.4
B group	3	14.80	396	3.63	97	8.11	1249	93	1.000	61.0 $\pm$ 7.1

n= number of counted zircons,  $\rho s$ = density of spontaneous tracks, Ns=number of spontaneous tracks counted to determine  $\rho s$ ,  $\rho i$ =density of induced tracks, Ni=number of induced tracks counted to determine  $\rho i$ ,  $\rho d$ =density of induced tracks in dosimeter glass NBS-SRM612, Nd=number of induced tracks counted in a muscovite external detector to determine  $\rho d$ , P( $\chi^2$ )=probability of obtaining  $\chi^2$ -value for  $\nu$  degree of freedom (where  $\nu$  = number of crystals - 1) (Galbraith, 1981), r = correlation coefficient between  $\rho s$  and  $\rho i$ , T=fission track age calculated from pooled Ns and Ni for all grains counted using zeta calibration:  $\zeta \text{ ED1} = 370 \pm 4.05$  (Danbara et al., 1991),  $\epsilon t = T \times [1/\sum Ns + 1/\sum Ni + 1/\sum Nd + (\sigma \zeta / \zeta)^2]^{1/2}$

計数した。なお、CH-2 試料については、27 個の本質ジルコンの内、1 個のジルコン粒子が作業過程のミスで計数できなかった。

#### A グループ (本質結晶) の測定結果とその評価

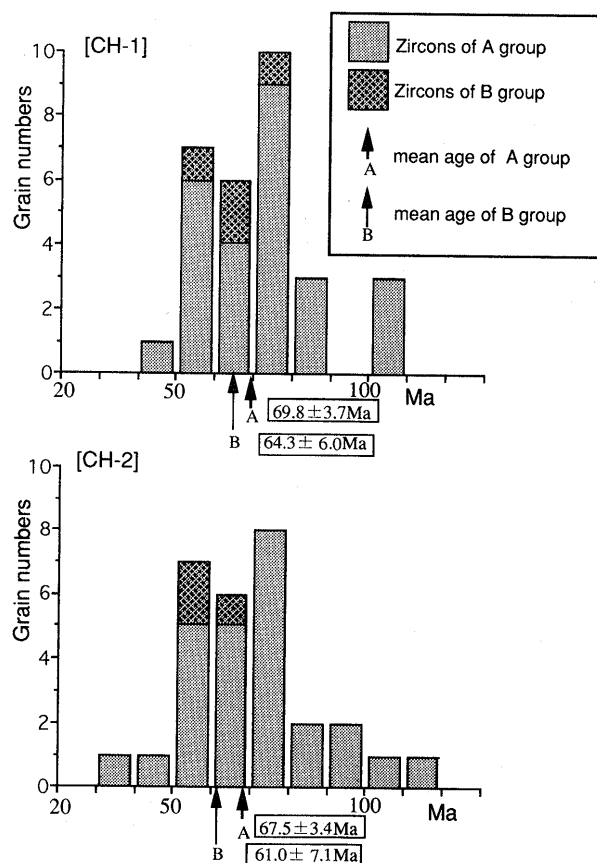
FT 年代値として、CH-1 は  $69.8 \pm 3.7$  Ma, CH-2 は  $67.5 \pm 3.4$  Ma を得た (Table 1).  $\chi^2$  検定でみると、CH-1 は 63%, CH-2 では 17% となり、いずれも棄却水準の 5% を大きく上回っている。粒子年代値の頻度分布は、CH-1 で 46–106 Ma, CH-2 では 39–113 Ma の間にそれぞれ分布するが、いずれも 50–80 Ma を中心としてまとまりがよく、極端に年代が異なるものはない (Fig. 5)。また、ジルコンの各粒子ごとの自発および誘導トラック密度の相関性についても、Fig. 6 の両者の相関図の特徴、および相関係数が CH-1 で 0.862, CH-2 では 0.853 と両試料とも高いことから、相関性がよいと判断される。したがって、今回得た両試料の放射年代値は、FT 年代値として信頼性が高いと判断できる。ほぼ同一層準から採取された、2 つの試料の年代値は近似しており、いずれも白亜紀最後期のマストリヒチアンを示している。

#### B グループ (異質結晶) の測定結果とその評価

B グループのジルコンの FT 年代値として、CH-1 は  $64.3 \pm 6.0$  Ma, CH-2 は  $61.0 \pm 7.1$  Ma を得た (Table 1).  $\chi^2$  検定でみると、CH-1 は 46%, CH-2 は 93% となり、いずれも棄却水準の 5% を大きく上回っている。粒子年代頻度分布 (Fig. 5) や  $\rho s$ - $\rho i$  比 (Fig. 6) においても、その分布からは本質ジルコンのものと識別できない。

### 考 察

竜神累層下部の千疋山酸性凝灰岩ユニットから採取した 2 試料の粗粒酸性凝灰岩について、今回行った FT 年代測定による年代値の信頼度を考慮するために、堆積後の被熱による



**Fig. 5.** Histogram of fission-track age for each zircon grain of the dated samples (CH-1 and CH-2). Numbers of zircon grains of A and B groups are 26 and 4 for CH-1, and 26 and 3 for CH-2, respectively. See Fig. 2 for sample localities.

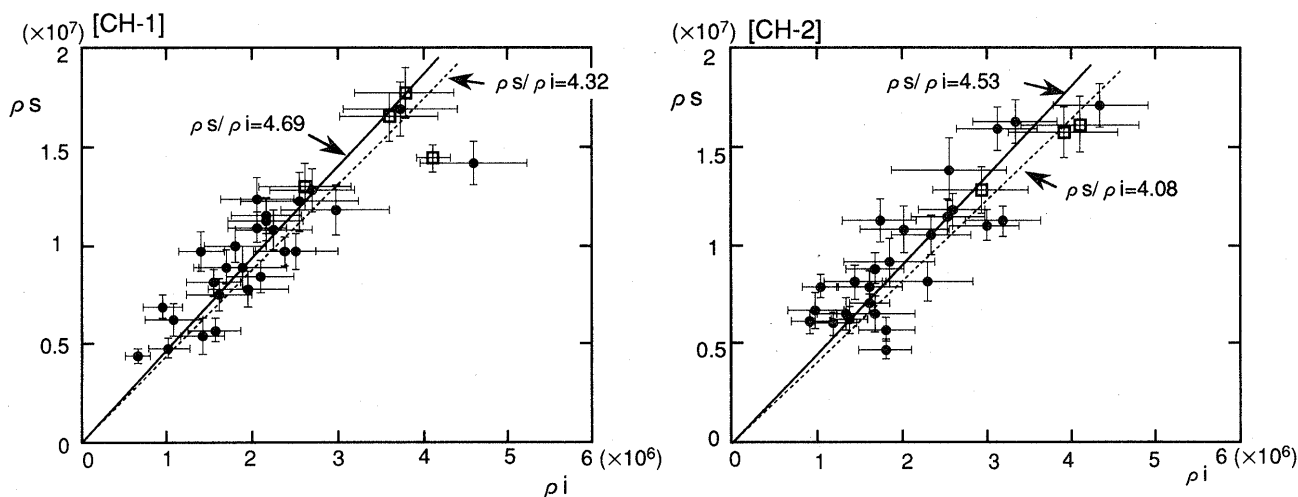


Fig. 6. Correlation diagram of  $\rho s$  and  $\rho i$  value with  $1\sigma$  error bar for each zircon grain of the dated samples (CH-1 and CH-2). Plots with closed circle and square correspond to zircon grains of A and B groups, respectively. Solid and dashed lines show isochron for A and B group, respectively.

アニーリングの影響、外来ジルコンの起源とその影響、酸性凝灰岩の堆積過程について検討し、その上で、後期マストリヒチアンに相当する FT 年代の地質学的意義について考察する。

#### FT 年代測定値の吟味

##### 1) アニーリングの影響

今回年代測定した両試料とも、鏡下で熱変成作用を受けた痕跡はまったく認められない。また、周囲には第三紀の火成岩として、最も近くに大峰花崗岩が分布しているが、水平距離で 60 km 離れており、それによる接触熱変成の影響はないといえよう。一方、上述したように、両試料の X 線回折のデータはアナリシムの存在を示しており、鏡下の観察では CH-2 試料についてアナリシムに変質しているガラス片が認められる。アナリシムの存在は、火山ガラスの沸石相分帯 (Iijima and Utada, 1971) に従うと、アナリシム帯の続成作用を受けたことを意味し、その温度条件は約 120°C より高い温度を被っていないと判断できる。ジルコンのアニーリングは約 200°C 以上で始まる (Hurford, 1986; Zaun and Wagner, 1985) とされるので、今回測定された酸性凝灰岩の FT 年代は堆積後に若返りを受けていないと考えられる。

##### 2) 外来ジルコンの起源とその影響

火山碎屑性堆積物に外来ジルコンが混入することはしばしば認められており、FT 年代測定において見かけの年代値に影響を与えることが指摘されている (例えば、西村, 1977)。実際、今回測定した酸性凝灰岩には、自形性・摩耗度・色とから、異質結晶として B と C の 2 つのグループが認められた。異質ジルコンの含有は、酸性凝灰岩のモード組成で 16–20% の類質ないし異質の岩片を含んでいることと対応しているといえる。しかし、B グループのジルコンは、抽出されたジルコンの中で CH-1 で 10%、CH-2 では 69% と大きな割合を占めており、ジルコンの年代値を吟味する上でその起源を検討する意味がある。そこで、以下のような B グループのジルコンの FT の特徴、その混入の原因および起源について検討する。

今回 FT 年代の測定に採用した grain by grain による外部ディテクター法は、鉱物粒個々の年代測定が可能のため、外来ジルコンの識別にある程度有効であるとされており、FT の計数データから本質結晶の A グループと異質結晶の B グループの両ジルコンの比較・吟味を行うことができる。凝灰岩や火山灰にこの方法を応用した研究例としては、西村 (1977)、雁沢 (1980, 1982)、鈴木 (1980) などがある。これらの研究では、外来結晶の識別基準として、①ジルコン粒子の年代頻度分布や自発トラック密度 ( $\rho s$ ) と誘発トラック密度 ( $\rho i$ ) の相関、②ジルコン粒子のウラン含有量の特徴と、それと粒子年代との関係などを用いている。

①については、Fig. 5 で認められるように、ジルコン粒子の年代の分布は A と B の両グループで有意な差がなく、Fig. 6 によると、B グループの粒子の  $\rho s/\rho i$  値分布でも、A グループのそれと重なり、両グループの年代値も誤差の範囲で一致する。②については、Fig. 6 において B グループの各粒子の  $\rho s/\rho i$  値は頻度分布の右上部、すなわちウラン濃度の高い領域に集中している。このことは、B グループと A グループが別の母集団に属していることを示唆しているが、B グループの測定数が少ないため確定的なことはいえない。

B グループのジルコンの由来を考える意味で、その重要な特徴は、①ジルコン粒子の年代値ないし  $\rho s/\rho i$  値では、本質結晶と考えられる A グループのジルコンと差異がないこと、②ジルコン粒子は多少磨耗していること、③ジルコン中での高い含有率 (CH-1: 10%, CH-2: 69%) があげられる。これらの特徴および酸性凝灰岩試料に含まれる岩片の中で酸性火山岩片が卓越していることをあわせて考慮すると、B グループのジルコンは、本酸性凝灰岩の給源火山体付近にあって、酸性火砕物質の噴出ないし堆積過程で容易に混入する条件にあり、FT 年代で違いが生じない程度に年代的に近接した、ほぼ同質の火砕物質がその母岩と考えられる。

#### 酸性凝灰岩の堆積過程と堆積年代

酸性凝灰岩の堆積年代は、酸性凝灰岩が噴出し堆積するまでに要した時間だけ噴出年代より若くなる。この時間差は酸

性凝灰岩の噴出後の再堆積過程に依存する。

竜神累層の酸性凝灰岩の堆積機構および過程について検討した、柳井 (1983)、徳岡ほか (1982)、坂本・別所 (1992) らの見解は、以下のようにまとめられる。①酸性凝灰岩はその律動的な成層状態や級化構造の発達、流痕を有することなどの特徴に基づいて、密度流として再堆積したものと判断される、②粗粒な酸性凝灰岩には炭質薄片が普遍的に含まれており、これらが陸上噴火に由来することを強く示す(ただし、柳井, 1983 は水中噴火の可能性を示唆している)、③酸性凝灰岩は、ほとんど火山碎屑物だけから構成されており、運搬の過程で淘汰され結晶と分離しやすい軽石片や壊れやすい火山ガラス片を多量に保有していることから、噴出後、淘汰作用や浸食作用の乏しい堆積機構を通して、短時間で堆積したものと推定される。これらの酸性凝灰岩の特徴は、すでに記述した千足山の粗粒酸性凝灰岩ユニットについてもあてはまる。したがって、酸性凝灰岩の本質結晶のジルコン (A グループ) から得た FT 年代は、陸上での酸性凝灰岩の噴出年代を示し、同時にその値は堆積年代を近似している可能性が強い。

FT 年代値が得られた酸性凝灰岩は、竜神累層の下部、Yanai (1984) の I 層に属する。竜神累層の地質時代は、*Amphipindax tylotus* 群集に相当する放散虫化石がいくつかの黒色頁岩・酸性凝灰岩から得られていることから、後期カンパニアン-マストリヒチアンと考えられてきた (松山ほか, 1982; 公文ほか, 1986; 鈴木, 1992)。この化石帯の年代幅は、Harland et al. (1989) の年代スケールによると、約 78-65 Ma に相当する。今回測定された酸性凝灰岩の FT による噴出年代値は、放散虫化石の地質時代の年代幅内に入る。

#### FT 年代の地質学的意義

##### 1) 竜神累層の地質年代

上記の結論に基づく、竜神累層から今回得た酸性凝灰岩の FT 年代は、その酸性凝灰岩を挟む竜神累層の下部 (Yanai, 1984 の I 層) を後期マストリヒチアン (約 70-65 Ma) という狭い時代範囲に限定している。従来、竜神累層は一連整合の 3 ないし 5 部層からなり、見かけの層厚が 1,400 - 4,000 m になる (Yanai, 1984; 木村, 1986; Kumon et al., 1988) とされ、紀伊半島西部地域では竜神累層のすべての層準 (Yanai, 1984 の部層区分では 4 部層) から、後期カンパニアン-マストリヒチアンを示す *Amphipindax tylotus* 群集の放散虫化石群集が産出している (鈴木, 1992)。竜神累層の層厚と放散虫化石の年代的制約から考えると、竜神累層は一連整合ではなく、断層による大規模な繰返し、ないし美山累層のように時代の異なるいくつかの構造ユニットの複合などの可能性があり、竜神累層の層序・構造を再検討する必要性が示唆される。

なお、木村 (1986) がその可能性を指摘した、竜神累層とその南に隣接する丹生ノ川累層との同時異相の関係については、今回得たデータから内容を評価することはできないが、この仮説の真偽はマストリヒチアンの西南日本前弧域の古地理の問題として今後に残された興味深い課題である。

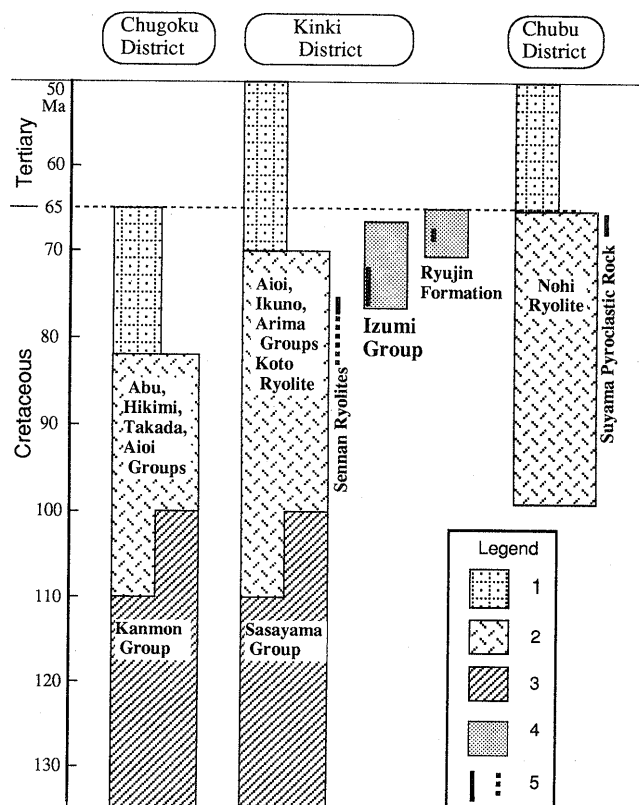


Fig. 7. Stratigraphic distribution of acidic to intermediate volcanic rocks of Cretaceous to Paleogene age in the Inner zone of Southwest Japan.

1: Younger volcanic rocks locally distributed in the San-in zone; 2: Major volcanic rocks widely distributed in the Inner zone; 3: Intermediate-dominant volcanic rocks; 4: Sedimentary rock-dominant strata; 5: time range of volcanic rocks and inferred one. Note that short thick lines within columns of the Ryujin Formation and the Izumi Group indicate time range of some intercalated acidic tuff based on FT ages (after this report and Miyata et al., 1993). Time ranges of the other volcanic rocks are after Harayama et al. (1985), Iizumi et al. (1985), Ozaki and Matsuura (1988), Sawada et al. (1994), Tainosho et al. (1985) and Yamada et al. (1987).

##### 2) 酸性凝灰岩の供給源

柳井 (1983) は、紀伊半島西部地域の竜神累層中の酸性凝灰岩が南から北に向かって細粒化することから、酸性凝灰岩の供給源が堆積盆 (四万十地帯) の南縁にあると推定している。柳井 (1983) の Figs. 1, 2 と 4 の地質図において、同層準とした酸性凝灰岩は褶曲によって繰返しているが、それらの褶曲軸は西にブランチしており、地層の分布形態は上位の後山砂岩層 (Fig. 1 の Ks) の西にブランチした褶曲による分布形態と類似している (Fig. 1 を参照)。褶曲軸が西にブランチしているため、褶曲を復元し地層を水平に戻すと、見かけ南北に分布する同層準の酸性凝灰岩の位置関係は、北東-南西ないし東北東-西南西の関係となり、この方位は地層の分布にはほぼ平行である。結局、柳井 (1983) が示した酸性凝灰岩の粒度の差は、竜神累層の堆積盆の軸に直行する方向ではなく、ほぼ平行な方向の変化となる。したがって、彼が



酸性凝灰岩の後背地を南とした根拠は採用できない。

一方、古流系と砂岩組成の特徴から、竜神累層の粗粒碎屑物の後背地は北側に隣接している西南日本弧であること (Kumon et al., 1988) を考慮すると、酸性凝灰岩の供給源は粗粒碎屑物と同様に西南日本弧であったとするのが妥当である。

次に酸性凝灰岩の供給源を考えるために、後期白亜紀の西南日本弧における酸性ないし中性の火山活動についての、これまでの年代値のデータを整理した結果を Fig. 7 に示す。西南日本内帯には中国地方から中部地方にかけて、後期白亜紀を主とする酸性ないし中性の大規模な火砕岩体が山陽帯から日本海側にかけて幅広く分布している。これらの年代値は花崗岩類と同様に西から東へしだいに若くなる傾向を示し、中国地方では阿武・匹見・周南層群・高田流紋岩類などの 110-80 Ma (飯泉ほか, 1985)、近畿地方では相生・生野・有馬の各層群、および湖東流紋岩などの 110-70 Ma (田結庄ほか, 1985; 尾崎・松浦, 1988; 沢田ほか, 1994)、中部地方では濃飛流紋岩などの 95-65 Ma (原山ほか, 1985) となる。これらの活動の後は古第三紀にかけて、いずれの地方でも日本海側の狭い限られた地域で小規模な酸性火砕岩体が分布しているにすぎない。一方、中央構造線の北に隣接する領家帯には、花崗岩類や変成岩類が広く分布し火山岩類はあまり残っていないが、唯一和泉層群およびその相当層に不整合に覆われた酸性火砕岩類がある。例えば、近畿地方の泉南流紋岩類 (市原ほか, 1986)、中部地方の巢山火砕岩 (宇井, 1977) の存在が知られている。泉南流紋岩類最上部からは  $75.3 \pm 2.5$  Ma のジルコンの FT 年代、中部地方の巢山火砕岩からは  $65.2 \pm 3.9$  Ma のジルコンの FT 年代 (山田ほか, 1987) がそれぞれ得られており、各地域ごとに上記の大規模な火砕岩体と同様の年代を示す。このことは、中央構造線近くまで、広く酸性火砕岩類が分布していたことを示唆している。また、近畿地方のマストリヒチアンを示す和泉層群から、酸性凝灰岩のジルコンの FT 年代が得られているが、いずれも 77-72 Ma の前期マストリヒチアンを示す狭い年代範囲 (宮田ほか, 1993) を示している。この年代値は今回得られた、竜神累層の酸性凝灰岩の FT 年代よりも明らかに古い。

以上のことから、今回測定した竜神累層の酸性凝灰岩の放射年代に相当する岩体は、西南日本内帯では近畿地方およびその以西にはなく、唯一中部地方に広く分布していることになる。さらに、中部地方では、当時、後期マストリヒチアンには、中央構造線の北側にはまだ和泉層群が堆積しておらず、それに先行して巢山火砕岩が噴出しており、南側へ火山碎屑物を供給しえる古地理的状况にあったと考えられる。したがって、放射年代値の比較および古地理的考察から、中部地方における濃飛流紋岩や巢山火砕岩などの火砕岩をもたらした火山体が、竜神累層中に挟まれる酸性凝灰岩の供給源であるという可能性が指摘できる。

## ま と め

本研究により以下のことが判明した。

(1) 四万十累層群竜神累層に属する千足山酸性凝灰岩ユ

ニットから 2 試料 (CH-1 と CH-2) の粗粒酸性凝灰岩を採取し、それらの本質結晶とみなせるジルコンの FT 年代測定を行った。その結果、 $69.8 \pm 3.7$  Ma,  $67.5 \pm 3.4$  Ma という信頼度の高い年代値を得た。この酸性凝灰岩の FT 年代値は後期マストリヒチアンに当たり、竜神累層が属する放散虫化石帯、すなわち *A. tylotus* 帯の時代 (後期カンパニアン-マストリヒチアン) と整合的である。

(2) 年代試料の酸性凝灰岩に含まれるジルコンは、自形性・磨耗度・色の違いに基づいて、A, B, C の 3 つのグループに区分できる。その含有率は CH-1 で 90%-10%-1% 未満、CH-2 で 30%-69%-1% である。A グループは磨耗されておらず自形性がよいことから本質結晶と考えられ、FT 年代測定の対象とした。B と C の両グループは結晶が磨耗しているので碎屑性の異質結晶と考えられる。しかし、B グループのジルコンの FT 年代値は、A グループのものと誤差の範囲で一致する。

(3) 今回得た酸性凝灰岩の FT 年代は、その酸性凝灰岩を挟む竜神累層の下部 (Yanai, 1984 の I 層) が後期マストリヒチアン (約 70-65 Ma) であることを示している。

(4) 今回得た酸性凝灰岩の FT 年代と西南日本内帯における白亜紀の酸性ないし中性の火砕岩の年代値との比較、および西南日本白亜紀後期の古地理についての考察から、濃飛流紋岩や巢山火砕岩など中部地方の、中央構造線以北に広がる大規模な火砕岩の給源火山体が、竜神累層中の酸性凝灰岩の供給源である可能性を指摘した。

**謝辞** 本研究を進めるにあたり、徳岡隆夫教授を始めとする紀州四万十帯団体研究グループの方々には、四万十帯の地質について、檀原 徹氏にはフィッション・トラックの年代測定結果の吟味に当たって、有益な助言と資料の提供を受けました。ここに深く感謝します。なお、FT 年代の分析費は、地質調査所の経常研究「地質図幅の研究」の試験研究費を利用した。

## 文 献

- Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T., 1991, Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **97**, 977-985.
- 雁沢好博, 1980, フィッション・トラック法による火砕流堆積物中の再堆積ジルコンについての検討. 堆積学研究会報, no.16, 29-36.
- 雁沢好博, 1982, フィッション・トラック法によるグリーン・タフ変動の年代区分 その 1 一佐渡地域一. 地質雑, **88**, 943-956.
- Galbraith, R.F., 1981, On statistical models for fission track counts. *Math. Geol.*, **13**, 471-488.
- Gleadow, A.J.W., 1981, Fission track dating methods: What are the real alternatives? *Nucl. Tracks*, **5**, 3-14.
- 原山 智・小井土由光・石沢一吉・仲井 豊・掛樹俊夫, 1985, 中部地方における白亜紀～古第三紀火成活動の変遷. 地球科学, **39**, 345-357.
- Harland, W.B., Armstrong, R.L., Cox, A., Craig, L., Smith, A. and Smith, D.G., 1989, *A geologic time scale*. Cambridge University Press, 263 p.
- Hurford, A.J., 1986, Cooling and uplift patterns in the Lepontine Alps South Central Switzerland and age of vertical movement on the Insubric fault line. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **92**, 413-427.



- 市原 実・市川浩一郎・山田直利, 1986, 岸和田地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 148 p.
- Iijima, A. and Utada, M., 1971, Present day zeolitic diagenesis of the Neogene geosynclinal deposits in the Niigata Oil Field, Japan. In *Molecular Sieve Zeolite I*, Am. Chem. Soc. Adv. Chem. Ser., **101**, 342-349.
- 飯泉 滋・沢田順弘・先山 徹・今岡照喜, 1985, 中国・四国地方の白亜紀〜古第三紀火成活動. 地球科学, **39**, 372-384.
- 木村克己, 1986, 奈良県十津川村南部四万十累帯北帯の日高川層群—層序と古地理—. 地質雑, **92**, 185-203.
- 紀州四万十帯団体研究グループ, 1975, 四万十地向斜の発展史. 地団研専報, no. 19, 145-156.
- 紀州四万十帯団体研究グループ, 1977, 和歌山県竜神村南部の日高川層群—紀伊半島四万十累帯の研究 (その 8)—. 地球科学, **31**, 250-262.
- 紀州四万十帯団体研究グループ, 1986, 紀伊半島西部中津村周辺の日高川層群美山累帯—紀伊半島四万十累帯の研究 (その 11) —. 地球科学, **40**, 274-293.
- 小井戸由光, 1975, 後期中生代酸性火山活動の時代についての一考察. 地団研専報, no. 19, 191-202.
- Kumon, F., 1983, Coarse clastic rocks of the Shimanto Supergroup in eastern Shikoku and Kii Peninsula, Southwest Japan. *Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ., Ser., Geol. & Miner.*, **49**, 63-109.
- 公文富士夫・松山尚典・中条健次, 1986, 紀伊半島四万十累帯日高川層群の改訂ジュラ紀最晩期—白亜紀放散虫化石群集. 化石, **41**, 17-27.
- Kumon, F., Suzuki, H., Nakazawa, K., Tokuoaka, T., Harata, T., Kimura, K., Nakaya, S., Ishigami, T. and Nakamura, K., 1988, Shimanto Belt in the Kii Peninsula, Southwest Japan. *Modern Geol.*, **12**, 71-96.
- 栗本史雄, 1982, 和歌山県高野山南西方のいわゆる秩父系—上部白亜系花崗層—. 地質雑, **88**, 901-914.
- 松山尚典・公文富士夫・中条健次, 1982, 紀伊半島四万十帯日高川層群の白亜紀放散虫化石. 大阪微化石研会誌, 特別号, no. 5, 373-378.
- 宮田隆夫・牧本 博・寒川 旭・市川浩一郎, 1993, 和歌山及び尾崎地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 68 p.
- 西村 進, 1977, フィッション・トラック年代決定法の問題点. 九十九地学, **12**, 1-10.
- 尾崎正紀・松浦浩久, 1988, 三田地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 93 p.
- Pettijohn, E.J., 1975, *Sedimentary rocks. Third edition*. Harper & Row, Publishers, Inc. 628p.
- 坂本隆彦・別所孝範, 1992, 酸性凝灰岩と密接に産する砂岩の形成: 紀伊半島四万十累層群の竜神累層千疋山酸性凝灰岩体を例として. 地質学論集, no. 38, 271-280.
- 沢田順弘・加々美寛雄・松本一郎・杉井完治・中野聰志・周琵琶湖花崗岩団体研究グループ, 1994, 琵琶湖南部白亜紀環状花崗岩体とコールドロン. 地質雑, **100**, 217-233.
- Schmid, R., 1981, Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geology*, **9**, 41-43.
- 鈴木博之, 1992, 紀伊半島の日高川帯に分布する竜神層の地質時代. 同志社大理工学研報, **32**, 350-361.
- 鈴木達郎, 1980, "Grain-by-grain" によるジルコンの fission track 年代測定. 堆積学研究会報, no. 16, 8-17.
- 田結庄良昭・弘原海 清・政岡邦夫・周琵琶湖花崗岩団体研究グループ, 1985, 近畿地方における白亜紀〜古第三紀火成活動の変遷. 地球科学, **39**, 358-371.
- 徳岡隆夫・原田哲朗・井内美郎・石上知良・木村克己・公文富士夫・中條健次・中屋志津男・坂本隆彦・鈴木博之・谷口純造, 1981, 龍神地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 69 p.
- 徳岡隆夫・公文富士夫・坂本隆彦, 1982, 紀伊四万十帯日高川層群の酸性凝灰岩. 総研 A 「四万十褶曲帯の形成過程」研究成果報告書, 145-153.
- 宇井啓高, 1977, 阿寺七滝礫岩層と河内層, 火山岩類との関係について. *MTL*, no. 2, 93-96.
- 山田直利・仲井 豊・檀原 徹, 1987, 領家帯南縁部に分布する泉南流紋岩類および果山火砕岩のフィッション・トラック年代. 地質雑, **93**, 287-299.
- 柳井修一, 1983, 四万十地向斜南縁部における後期白亜紀酸性火山活動. 火山, **28**, 11-23.
- Yanai, S., 1984, Paleogeography of the Cretaceous Shimanto geosyncline, in respect of forearc tectogenesis in active continental margin. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II*, **21**, 1-37.
- Zaun, P.E. and Wagner, G.A., 1985, Fission-track stability in zircons under geological conditions. *Nucl. Tracks*, **10**, 303-307.

## (要 旨)

木村克己・別所孝範・坂本隆彦・公文富士夫・鈴木博之, 1996, 紀伊半島四万十累層群の上部白亜系竜神累層に挟まれる酸性凝灰岩のフィッション・トラック年代とその意義. 地質雑, **102**, 116-124. (Kimura, K., Bessho, T., Sakamoto, T., Kumon, F. and Suzuki, H., 1996, Fission-track ages and their significance of acidic tuff in the Upper Cretaceous Ryujin Formation of the Shimanto Supergroup, Kii Peninsula, Southwest Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **102**, 116-124.)

紀伊半島の白亜系四万十累層群竜神累層から採取された 2 試料の粗粒酸性凝灰岩 (CH-1, CH-2) について, grain by grain による外部ディテクター法 (ED1) によって, ジルコンのフィッション・トラック (FT) 年代を得た. 両試料とも厚さ 300 m の酸性凝灰岩ユニットから採取された. CH-1 は粗粒軽石質結晶凝灰岩であり, CH-2 は粗粒ガラス質結晶凝灰岩である. 本質とみなせるジルコンの FT 年代は,  $69.8 \pm 3.7$  Ma (CH-1) と  $67.5 \pm 3.4$  Ma (CH-2) である. これらの年代値は, 竜神累層が属する放散虫化石帯 (*Amphypindax tylosus* 群集) の年代レンジ内に入り, その酸性凝灰岩を挟む竜神累層下部の時代を後期マストリヒチアンに限定する. 古地理的考察と今回得た酸性凝灰岩の FT 年代値を考慮すると, 竜神累層の酸性凝灰岩は, 濃飛流紋岩や果山火砕岩などの中部地方に分布する流紋岩質火砕岩の給源火山体から由来したと推定される.