

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

坂本隆彦*・別所孝範**

The formation of sandstones associated with acidic tuff:
an example of the Chibikiyama acidic tuff in the Ryujin Formation
of the Shimanto Supergroup, Kii Peninsula, Japan

Takahiko Sakamoto* and Takanori Bessho**

Abstract The Shimanto Supergroup in the Kii Peninsula is divided into three groups, namely the Cretaceous Hidakagawa Group, the Eocene Otonashigawa Group and the Eocene to early Miocene Muro Group from north to south.

The Ryujin Formation belongs to the Hidakagawa Group and its geological age is Campanian~Maastrichtian. The Ryujin Formation is composed mainly of mudstones, associated with sandstones, tuffaceous sandstones, alternating sandstone and mudstone, green rocks, and acidic tuffs. The acidic tuffs are mostly thinly bedded, however there are sometimes thick-bedded, coarse-grained tuffs. At Mt.Chibiki in the southeast part of Gobo City, pumiceous tuffs, pumiceous green tuffs, white glassy tuffs and tuffaceous sandstones form a large sedimentary body, more than 300m in thickness.

Tuffaceous sandstones seem to be a mixture of sorted pyroclastic materials and non-volcanic clastics, the former, however, are more abundant than the later. There are abundant tuffaceous sandstones in the Ryujin Formation, which were formerly regarded as sandstone. Therefore, it is concluded that the acidic volcanic activity coeval with sedimentation, played a large role as a source for the coarse clastic sediments of the Ryujin Formation.

Key words: Kii Peninsula, Shimanto Supergroup, Ryujin Formation, acidic tuff, pumiceous tuff, tuffaceous sandstone

はじめに

四万十累層の白亜系にはかなりの量の酸性凝灰岩が挟在しているにもかかわらず、1965年以前には、その存在が知られていなかった(中沢, 1965)。細粒の凝灰岩はチャートに、また粗粒の凝灰岩は砂

岩に見誤られていたためである。その後の調査で竜神累層中には酸性凝灰岩が広く分布することが明らかになり、その分布が詳細に示された(徳岡ほか, 1981)。

徳岡ほか(1982)は酸性凝灰岩の産状、鉱物組成や粒度を検討し、堆積機構を考察した。そのなかで砂岩の供給源としての酸性凝灰岩の役割の重要性を述べている。しかし、酸性凝灰岩の堆積機構や碎屑性堆積物への供給源としての役割を充分解明したとはいいがたい。また、柳井(1983)はこの酸性凝灰

* 大阪府立香里丘高等学校, Korigaoka High School, Hirakata, Osaka 573, Japan.

** 大阪府立八尾東高等学校, Yaohigashi High School, Yao, Osaka 581, Japan.

岩に着目し、その厚さが北側で薄くなることや粒度が北側で粗くなることを示し、供給源となる火山島列を南側に設定した。

竜神層中には酸性凝灰岩がかなり多くはさまれているが、一般的には細粒であり、薄く成層したものが多く、しかし和歌山県御坊市の南東にある千疋山には厚く成層した粗い酸性凝灰岩の大きな岩体が存在する(以後、千疋山酸性凝灰岩と呼ぶ)。この岩体の主要部は凝灰質砂岩で構成されており、凝灰質砂岩と凝灰岩との関係が詳しく検討できた。竜神累層の砂岩、または凝灰岩とされてきたものの中には凝灰質砂岩が相当含まれており、堆積と同時期の火山噴出物が粗粒碎屑物の供給源として重要であることが判明した。

地 質 概 説

紀伊半島の四万十累帯は、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第三系音無川層群・牟婁層群に分けられる(Fig. 1)。日高川層群は、北より Coniacian~Campanian の花園累層, Hauterivian~Turonian の湯川累層, Turonian~Santonian の美山累層, Campanian~Maastrichtian の竜神累層, Campanian

~Maastrichtian の丹生ノ川累層に区分される(Kumon *et al.*, 1988)。竜神累層は、黒色頁岩・頁岩勝ち互層を主とし、砂岩・砂岩勝ち互層・酸性凝灰岩・緑色岩を伴う。岩相により、R1 部層から R5 部層に細分されている(紀州四万十帯団体研究グループ, 1977)。このうち R2 部層と R4 部層は砂岩勝ち互層および成層砂岩よりなり、連続性が良い。これらの地層の堆積環境は下部大陸斜面から海溝に堆積したと推定されている(Kumon *et al.*, 1988)。

竜神累層の酸性凝灰岩は、2–3cm から 10cm の厚さの凝灰岩単層が数枚から 100 枚程度重なって、数 10cm から数 10m の地層を形成していることが多い。凝灰岩は通常淡緑色で透明感のあるガラス質細粒凝灰岩である。平行葉理や級化が認められることがある。一方、あまり頻度は高くないが、数 10cm から数 m の厚さで成層する、やや粗粒な凝灰岩もみられる。これらは、成層した細粒凝灰岩を伴って、全体で数 10m から 100m の厚さに達することもある。しかしながら、御坊市南東の千疋山周辺に分布する酸性凝灰岩は凝灰質砂岩と併せて 300m 以上の層厚を持ち、また、粗粒で軽石を含む点できわめて特徴的である。

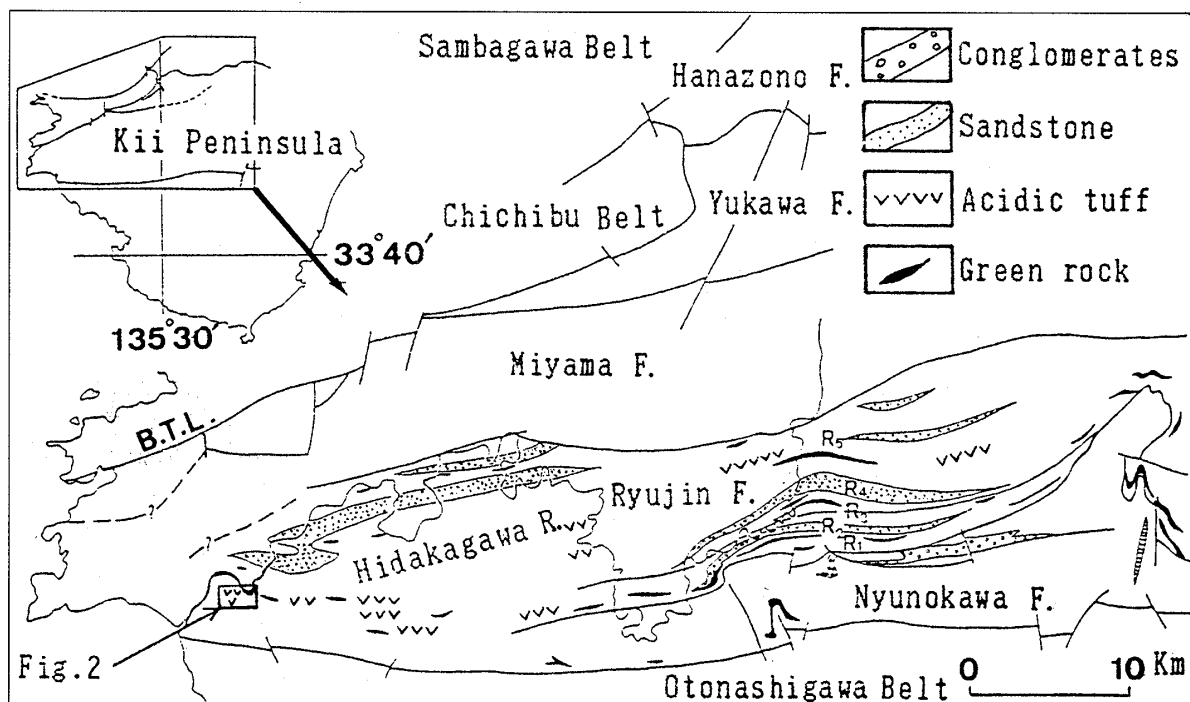


Fig. 1. Index map of the study area and the geological outline of the Cretaceous Shimanto Belt in the west to central part of the Kii Peninsula.

千疋山酸性凝灰岩体

千疋山は、日高川の形成した沖積平野に点在する侵食残丘の一つで、東北東—西南西に伸びたレンズ型をなしている。長径は2km、幅0.6kmで、最高部の標高は128mであり、かなり急峻な地形である。その北側3分の2以上を占めて、酸性凝灰岩と凝灰質砂岩が分布する(Fig. 2)。これらの大部分は東北東—西南西の走向を示し、高角度で北または南に傾斜するが、上下判定のできる限りではいずれも北上位を示す。ただし、岩体の東縁では北東—南西の走向に変化し、プランジの大きな単軸性背斜構造の存在が推定される。

酸性凝灰岩体とはいうものの凝灰質砂岩が主体であり、頁岩や頁岩勝ち互層を挟むこともある(Fig. 2)。岩体の下位には頁岩勝ちの砂岩頁岩互層や頁岩があり、砂岩薄層の膨縮や変形が著しい。上位は日高川に侵食されて露頭が欠如している。岩体の最下部および下部に軽石質凝灰岩が厚く発達する。上部にはガラス質細粒凝灰岩や軽石質緑色凝灰岩がみられる。以下に、おおむね下位より酸性凝灰岩体の構成岩相を順次説明する。なお、砂岩のモード組成の測定においては伝統的な方法を用い、 0.5×1.0 mmの間隔で500点以上を測定することを基本とした。また、基質は $20\mu\text{m}$ 以下とした。

軽石質凝灰岩：軽石質凝灰岩は淡緑色を呈し、数mmから1,2cm大の軽石がかなり多く含まれる。軽石質凝灰岩は下部の層準に多く東部では尾根をつくり、西端部では比較的急傾斜なところに露出する。

岩体中央部の軽石質凝灰岩はその最大層厚が約35mである。横への変化があり凝灰質砂岩に移化することもある。一般的には2mから7—8mの厚さで成層するが、多くの露頭では層理が不明瞭で塊状にみえる。しかし、局所的には細粒な部分が存在し、葉理を形成する。また、頁岩パッチをかなり含むことも有り、その伸びの方向からおおよその層理面が推定できる。軽石が圧密のため偏平になり、頁岩パッチの伸びの方向と平行に配列していることもある。軽石質凝灰岩に含まれる軽石は径数mmから1cm程度のものが多いが、まれには4cmに達するものも含まれている。軽石はかなり均質に分布するが、密集部と散在部が識別できる。鏡下では軽石は不規則な形を呈し、結晶粒子の間を流れて充填した様にみえることもある。一辺が切断されたような形をなす粒子は存在するが、円磨されたものはみられない。軽石凝灰岩が緑がかっているのは、軽石の一部が緑泥石化しているためである。軽石の他に石英、カリ長石、斜長石の結晶片が含まれ、ガラス片や酸性から中性の火山岩片、凝灰岩片も認められ

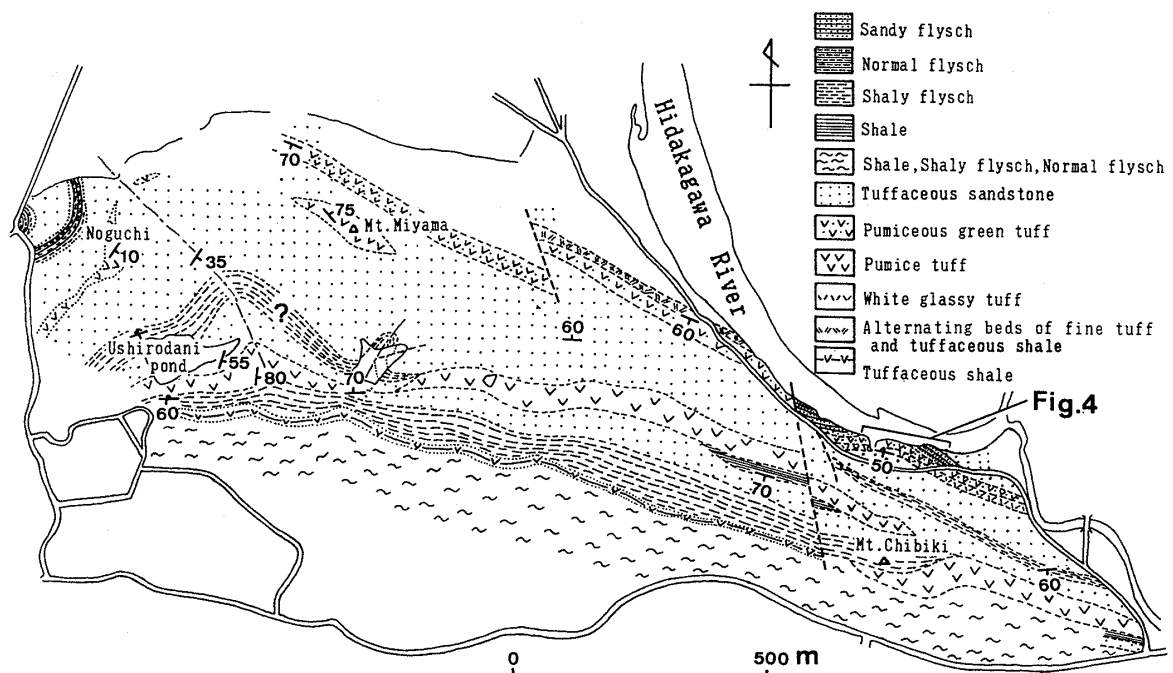


Fig. 2. Geologic map around the Chibiki Mountain.

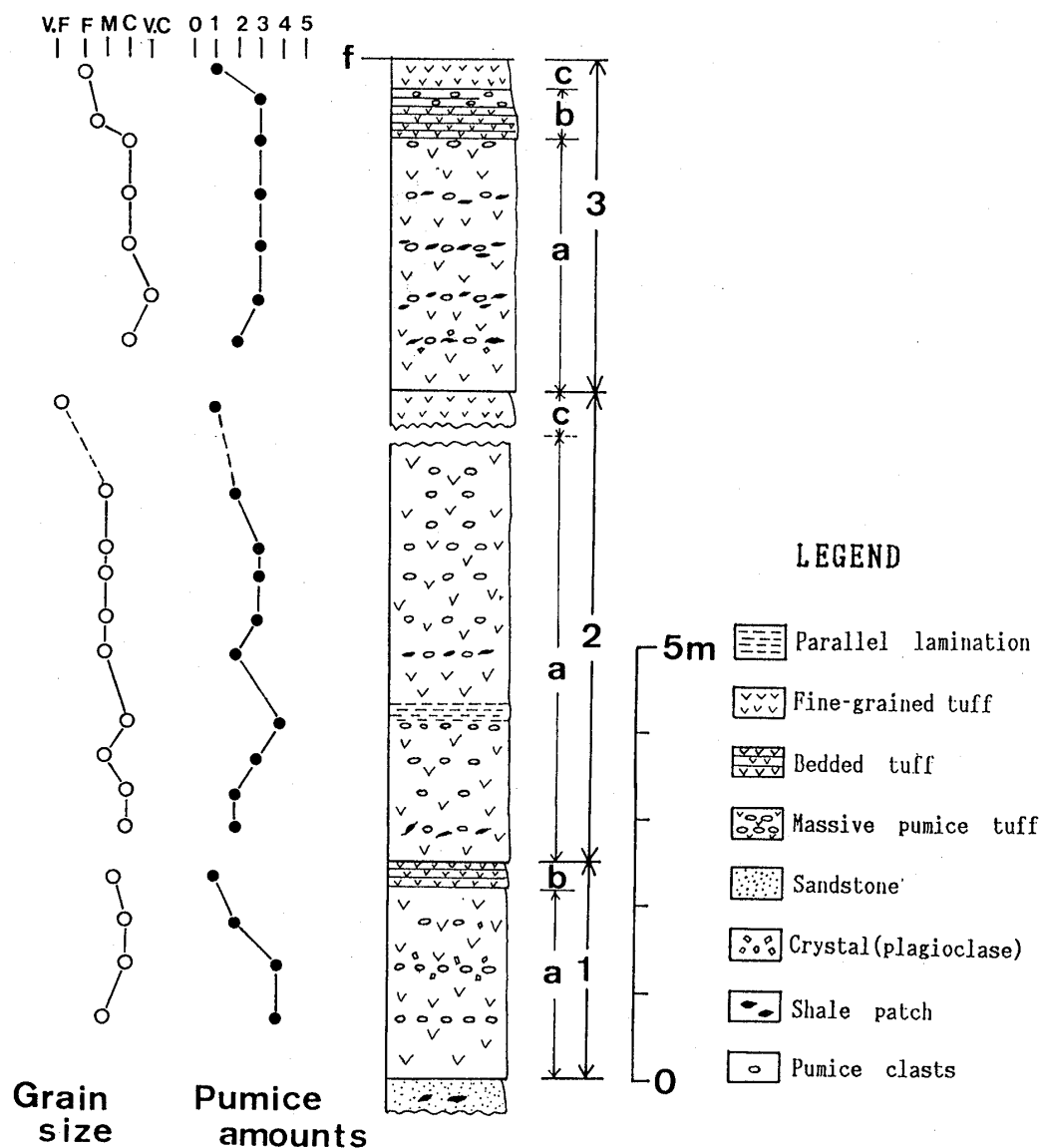


Fig. 3. Detailed column of the pumiceous tuff beds. Pumice amounts; 0: non, 1: rare, 2: poor, 3: common, 4: rich, 5: very rich.

る。

軽石凝灰岩の産状や内部構造がよく観察できるのは、野口貯水場である。ここに露出する軽石凝灰岩は、高さ 20m 以上にわたって斜面をつくる。詳細に観察すると、葉理が存在し、また、頁岩パッチや偏平化した軽石の配列が認められることもある。肉眼で粒度と軽石の含有量等を検討した結果、少なくとも 3 つのユニットが識別できた (Fig. 3)。1 つのユニットはさらに、下部から a, b, c の 3 つの部分が識別される。a 部は極粗粒～粗粒で、頁岩パッチや粗い軽石片を普遍的に含む。粒度や軽石片含有量は a 部の中央部で大きくなる傾向がある。b 部は 1

～2cm に成層する灰白色の中粒～細粒の凝灰岩で、小さな軽石片も普通に含む。c 部は灰白色の細粒～極細粒の凝灰岩で軽石片はまれにしかみられない。

軽石質凝灰岩は結晶粒子 (19%)、岩石片 (21%)、基質 (60%) より成る。結晶粒子では、斜長石が最も多く (12%)、石英 (5%)、カリ長石 (2%) と続く。岩石片の中では、軽石 (5%) が最も多く、緑泥石化がすすんでいる。その他、酸性火山岩片、中性火山岩片、凝灰岩片も含まれる。基質はほとんどがガラスの細片であり火山ガラス本来の形態を保存しているものが多い。

凝灰質砂岩：中粒から粗粒で灰白ないしは、灰緑色を呈し、千疋山の主要部に広く分布する。まれにチャート等の細礫を含むこともある。頁岩パッチを普遍的に含み、炭質物がみられることもある。一般に数10から100cm程度の厚さで成層する。平行葉理や斜交葉理がみとめられることもある。日高川河床では酸性凝灰岩の上位と下位に凝灰質砂岩がよく発達する (Figs. 4, 5)。

下位の凝灰質砂岩は、20～50cmの厚さに成層し、頁岩パッチを多く含む。また、炭質物や平行葉理もまれにみられる。上位の凝灰質砂岩は、砂岩優勢互層と厚層砂岩に分けられる。砂岩優勢互層は、10～120cmの厚さで成層するが、そのなかで20～30cmに成層したものが最も多い。これらの砂岩は灰白色を呈し、細粒から中粒である。頁岩パッチがふつうに認められ、まれに径数mmの軽石が含まれる。平行葉理が発達し、特に下部の薄層理の互層部分で顕著である。また、この部分では flute cast が発見されている。上部になると斜交葉理も認められる。厚層砂岩は110～160cmの厚さで成層する灰色の極粗粒～中粒砂岩であり、単層の下部に、大きな頁岩パッチ (最大径4cm) が多量に含まれる。また、脱水構造もみられる。

下位の凝灰質砂岩の平均的なモード組成は、石英22.1%，カリ長石5.5%，斜長石16.1%といった鉱物

粒子のほかに、酸性火山岩片を17.2%含み、中性火山岩・花こう岩質岩・泥岩・チャート・凝灰岩等の岩片を伴う。また、脱ガラス化した火山ガラスが2.5%含まれるが、軽石片は、まれである (Fig. 6)。一方、上位の凝灰質砂岩の平均的なモード組成は、石英16.9%，カリ長石6.4%，斜長石21.8%，酸性火山岩片10.0%であり、中性火山岩・花こう岩質岩・泥岩・チャートなどの岩片も含まれている。また軽石片が1.8%，火山ガラスが7.6%含まれている (Fig. 6)。

泥流様堆積物：調査地域東部の日高川の河床には凝灰質砂岩の上位に、黒灰色の凝灰質泥岩が分布する (Figs. 4, 5)。この泥岩中には、大小の角れき状の泥岩片や流れたような構造を持つ凝灰岩破片が含まれる。これらの岩片の最大径は13cmである。この構造は未固結時に形成されたと推定される。泥岩中には長石片が普遍的に認められる。この地層は、火山灰が泥質堆積物とともに泥流となって流下し、形成されたと推定される。

白色ガラス質凝灰岩：泥流様堆積物の上位には淡灰色から白色の細粒凝灰岩が露出している (Figs. 4, 5)。この白色ガラス質凝灰岩の厚さは2m～4mである。地層の下底付近に多量の炭質物を含む。多くの炭質物は細長い棒状をなし、ほぼ平行に配列している。その大きさは様々であるが、径5mmから8mm程度のものが多い。なかには径7cmほどの材化石が

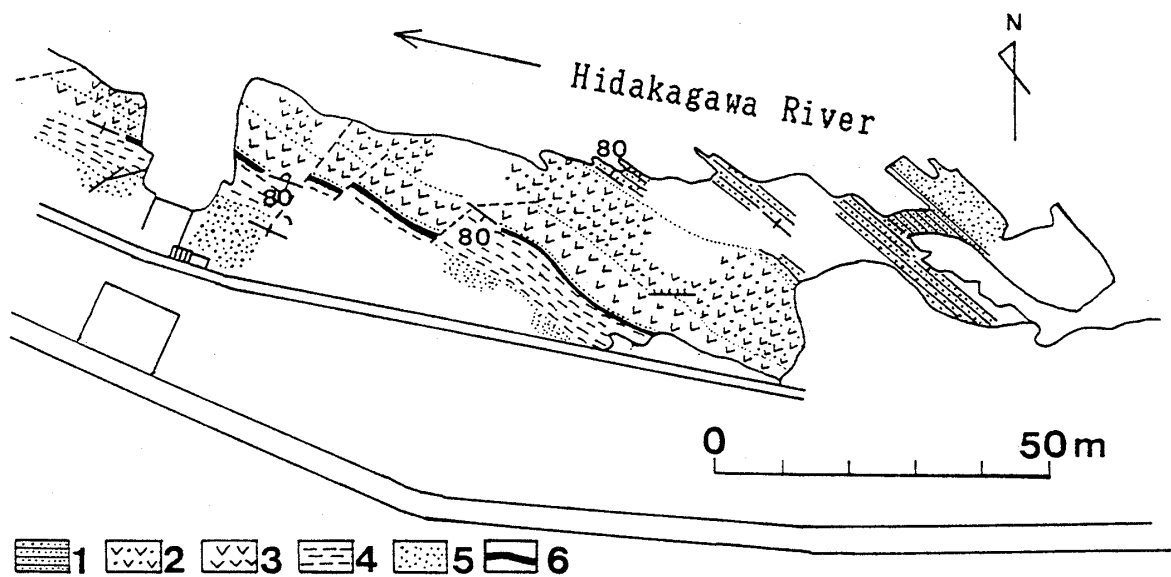


Fig. 4. Geologic map at the riverbed of the Hidakagawa River. 1: sandstone-dominant alternations of sandstone and mudstone, 2: pumiceous green tuff, 3: white glassy tuff, 4: mudstone-dominant alternations, 5: tuffaceous sandstone, 6: mud-flow sediment.

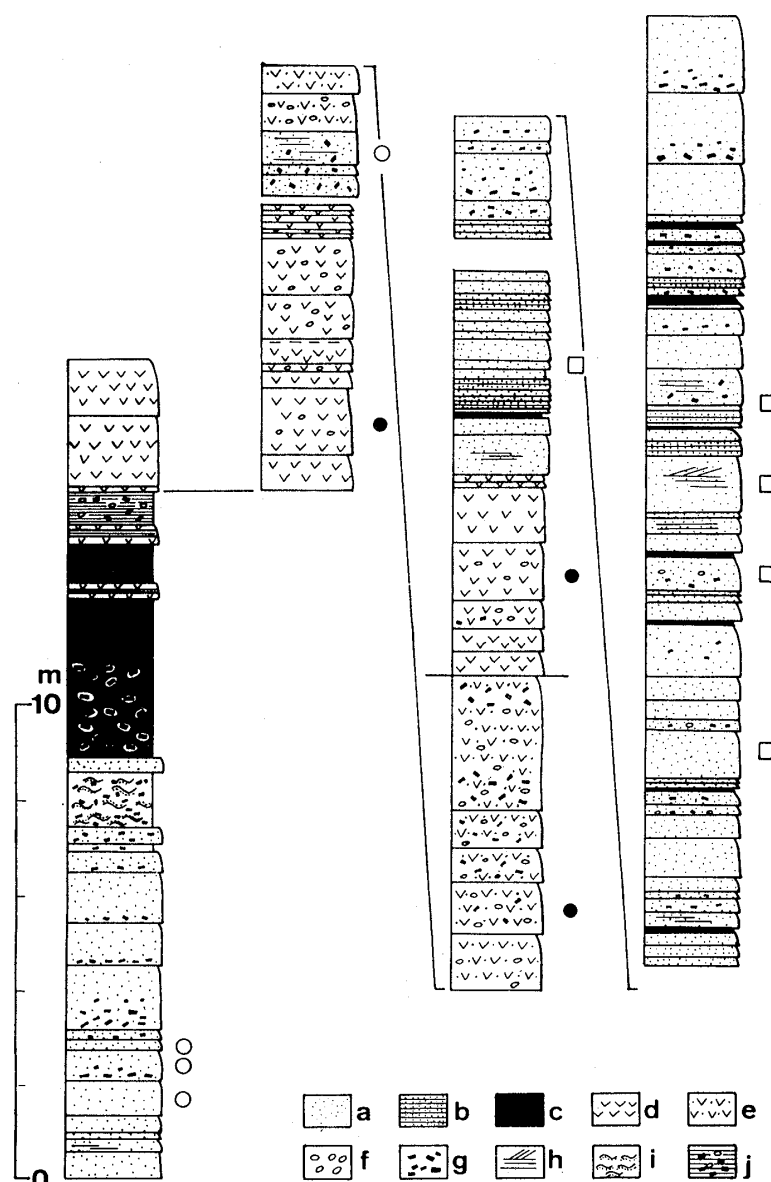


Fig. 5. Geologic columnar section at the riverbed of Hidakagawa River. a: sandstone, b: sandstone dominant alternations of sandstone and mudstone, c: mudstone, d: white glassy tuff, e: pumiceous green tuff, f: pumice clasts, g: sh-patches, h: cross and parallel laminations, i: slump beds, j: mud-flow sediments.

あり、年輪も確認された。

この凝灰岩は、結晶粒子(28%)、岩石片(8%)、基質(64%)よりなる。結晶粒子は斜長石が最も多く(20%)、次に石英(6%)、カリ長石(2%)と続く。岩石片は軽石(4%)、酸性火山岩(4%)が多く、中性火山岩や花こう岩も伴う。基質はほとんどガラスの細片よりなるが、脱ガラス化作用のために珪長質鉱物に変化している。火山ガラス本来の形態を残すガラス片は13%ほど含まれる。

軽石質緑色凝灰岩：日高川の河床では白色ガラス

質凝灰岩の上位に重なり、調査地域の北縁に沿って連続的に分布する(Figs. 2, 4, 5)。軽石を比較的多く含み、粒度は軽石凝灰岩より細粒である。暗緑色を呈するので軽石質緑色凝灰岩と呼んでいる。頁岩パッチが普遍的にみられ、全体の厚さは数mから15m程度である。

本凝灰岩は、結晶粒子(44%)、岩石片(21%)、基質(35%)よりなる。また、炭質物も少量(1%以下)含まれる。結晶粒子では、斜長石が最も多く(30%)、石英(9%)、カリ長石(5%)と続く。岩石片の中では、

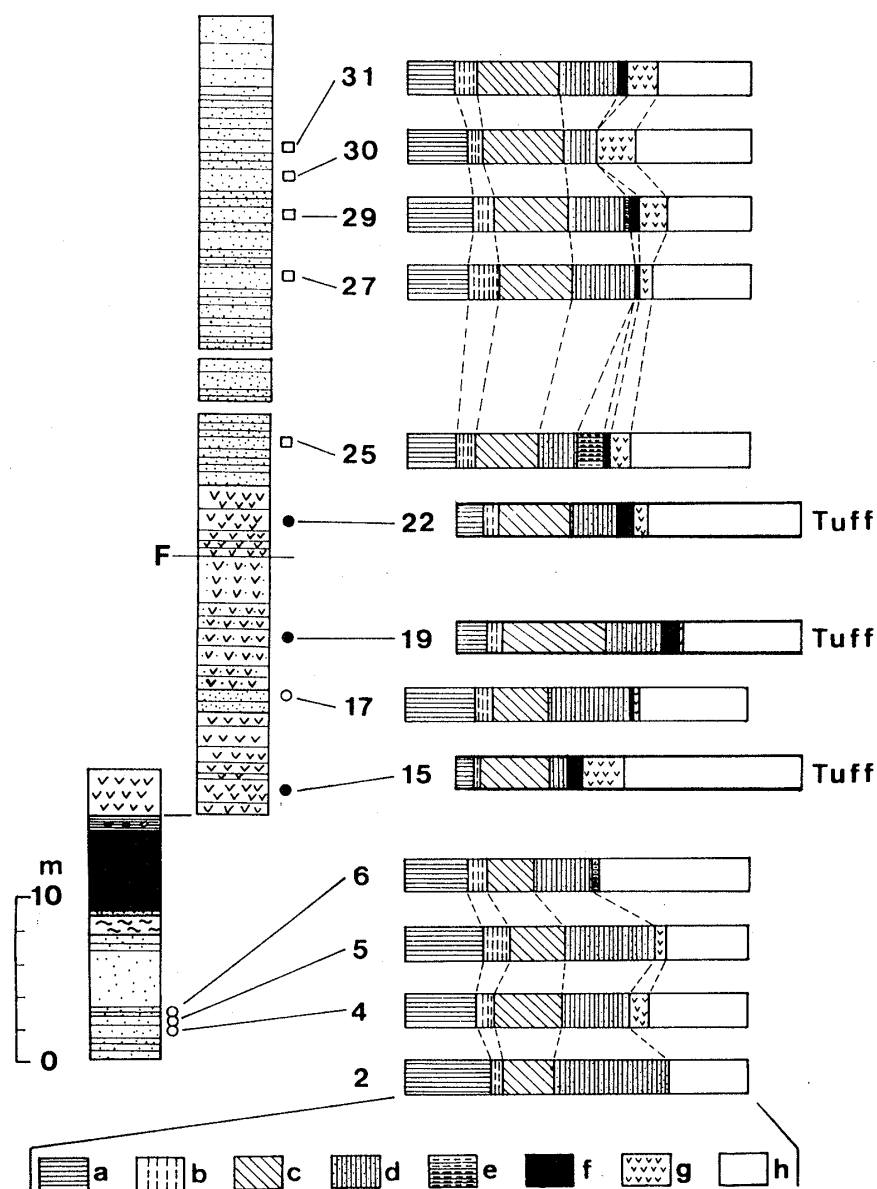


Fig. 6. Composition of sandstone and acidic tuff. a: quartz, b: potassium feldspar, c: plagioclase, d: rock fragments, e: others, f: pumice fragments, g: glass shards, h: matrix.

酸性火山岩が最も多く(12%),その次に軽石(5%)と続き,中性火山岩,泥岩,凝灰岩,花こう岩等も含まれる。基質はほとんどがガラスの細片と推定されるが,火山ガラス本来の形態を保存しているものは少ない。

薄層細粒凝灰岩: 軽石質緑色凝灰岩の上位に薄層理の凝灰岩が重なる(Fig. 2)。単層の厚さが5cmから40cmの極細粒の凝灰岩である。2cmから10cmの厚さの泥岩と互層をなすところもある。平行葉理や級化構造が普通にみられる。全体の層厚は数mから10m程度である。

考 察

Fig. 4に千疋山北東部の日高川河床における酸性凝灰岩と凝灰質砂岩の産状を, Fig. 5にその柱状図を示す。これらの図に示されるように,両者は密接に伴って算出する。

軽石質凝灰岩はFig. 3に示したような内部堆積構造をもつ。Niem (1977)はこの岩相と類似した凝灰岩をOuachita flysch basinから報告している。ここでは,下部に無層理の軽石質のガラス質結晶凝灰岩,中部に薄層理の軽石質凝灰岩そして最上部には細粒のガラス質凝灰岩の順に重なる。これらは,1回

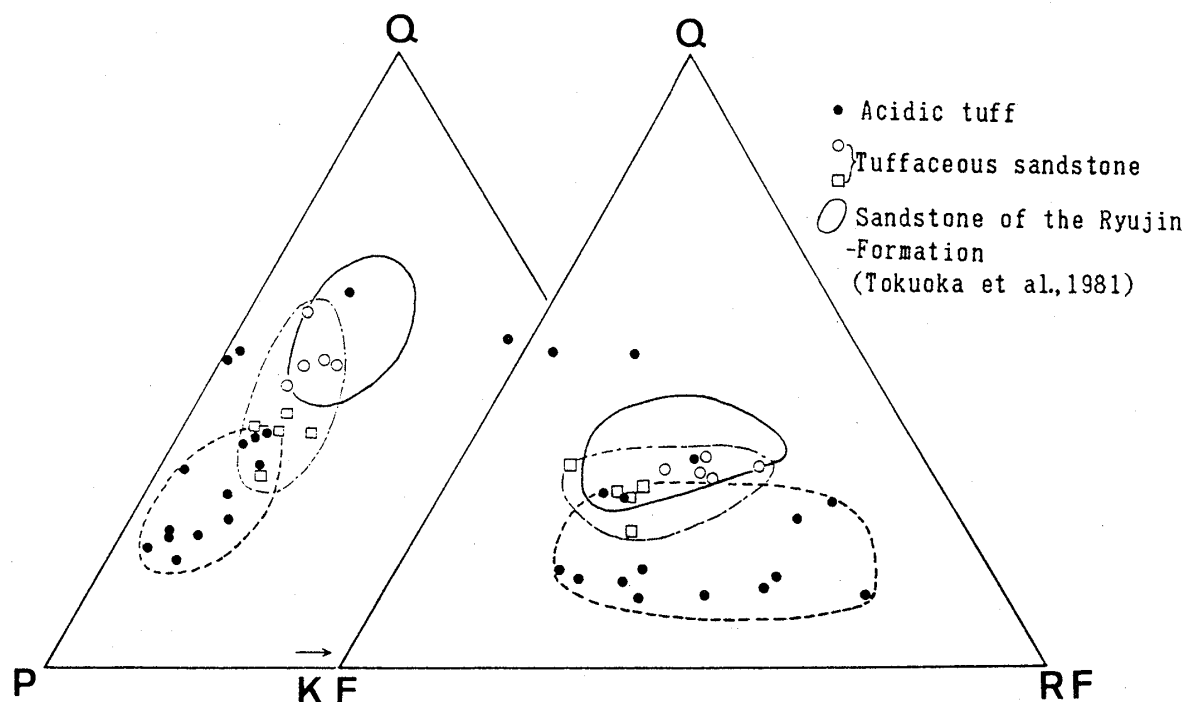


Fig. 7. Compositional diagram of sandstones and tuffs. Q: quartz, P: plagioclase, K: potassium feldspar, RF: total rock fragments.

の水中噴火により発生した密度流によって形成されたとされている。千疋山の軽石凝灰岩もこのような密度流で形成された可能性が高い。すなわちa部～c部からなる1つのユニットが1回の密度流に対応し、そしてc部は最後に定置したash-cloudと推定される。また、こうした軽石質凝灰岩の内部構造は黒川(1990)のash flow turbidite (Type C3)にもよく似ている。軽石質凝灰岩は、水中を流れたある種の密度流(水中流走火砕流)によって形成されたものと考えられる。

一方、白色ガラス質凝灰岩には多量の炭質物が含まれ、年輪をもつ材化石も発見されている。また、今回の報告地域ではないが、酸性凝灰岩中に長径数10cmにおよぶ材化石も見いだされている(徳岡ら, 1982)。これらのことから酸性凝灰岩の一部は、陸上噴火からもたらされた可能性が強いと考えられる。

凝灰質砂岩は厚さ数10cmから1.6m程度に成層したものが多く、また、通常の砂岩と同様に泥岩と互層するものもみられる。薄層の凝灰質砂岩には綫化や平行葉理が発達し、流痕が認められることもある。泥岩パッチは普遍的に含まれ、特に厚層をなす砂岩の下部に多い。また、厚層砂岩には脱水構造が見られることがある。これらの特徴からみて、凝灰

質砂岩も堆積物重力流で運搬・堆積したと考えられ、とくに混濁流や粒子流の役割が大きいと推定される。

同じルートにおける凝灰岩及び凝灰質砂岩のモード組成をFig. 6に示す。それを他地域の凝灰岩のデータも含めて、三角ダイアグラムでFig. 7に示す。構成物の組成からみると、凝灰岩では基質が格段に多く、軽石片や火山ガラス片の含有率も高いという共通性がある。一方、凝灰質砂岩では基質が少なく、かつ相対的に石英の比率が高い。また、軽石や火山ガラスが普遍的に含まれる。

より詳しく検討すると、軽石質凝灰岩で火山ガラス細片からなる基質の量が最も多く(約60%)、軽石や類質岩片の割合も高い。逆に異質岩片はほとんど含まれない。軽石質緑色凝灰岩では、基質の量がかなり減り(約35%)、結晶粒子の量が多くなる。また、花崗岩片や頁岩片のような異質岩片も含まれるようになる。凝灰質砂岩では、基質は少なく、石英・カリ長石などの結晶粒子の割合が高くなる。いわゆる“volcanic quartz”の特徴を有する石英がしばしば認められる。また、軽石や火山岩片が普遍的に含まれる。

軽石質凝灰岩が純粋な火山碎屑物のみからなる

のに対して、軽石質緑色凝灰岩や凝灰質砂岩などでは、運搬・堆積過程での淘汰作用を受けて、火山ガラスや軽石などが選択的に運び去られるとともに、化学的に不安定な粒子・結晶が変質して減少し、もともとの組成が変化したと考えられる。一方、軽石質凝灰岩にはほとんど含まれない花崗岩片やチャート片、マイクロクリンなどが凝灰質砂岩には普遍的に含まれている。このことは、単に運搬堆積過程での淘汰作用や変質だけで組成の変化が生じたのではなく、非火山性の碎屑物との混合があったことを示している。特に、マイクロクリンは火山岩類には存在しない鉱物であり、これが凝灰質砂岩に普遍的に含まれる意味は重要である。軽石質凝灰岩が水中火砕流の特徴を示すのに対して、凝灰質砂岩が、タービダイトのような再堆積性の特徴を示すことも、このような考え方を支持する。

凝灰岩や凝灰岩質砂岩のモード組成とともに、竜神累層の砂岩のモード組成の範囲(徳岡ほか, 1981)を Fig. 7 に示した。これらを比較すると、今回検討した凝灰質砂岩は軽石質凝灰岩と砂岩との中間的な組成を示していることが分かる。この事実も、凝灰質砂岩が、火山碎屑物と通常の砂岩を構成する非火山性の碎屑物との混合したものである可能性を示唆している。

筆者らの竜神累層についての調査によれば、これまで「砂岩」とされていたものの中には相当多くの凝灰質砂岩があると推定される。竜神累層における粗粒碎屑物の供給と堆積に関しては、堆積時の火山活動に直接由来する火山碎屑物の役割が、単に凝灰岩の形成にとどまらず、非常に大きなものであったと考えられる。

謝辞 山口大学理学部君波和雄助教授には、本研究

を行う機会を与えていただいた。信州大学理学部公文富士夫助教授には粗稿を校閲していただき、有益なご助言をいただいた。

紀州四万十帯団体研究グループの方々には、日頃より討論をしていただいている。以上の方々にこの場を借りて感謝の意を表します。

文 献

- 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—紀伊半島四万十帯の研究(その8)一。地球科学, **31**, 250-262.
- Kumon F., Suzuki H., Nakazawa K., Tokuoka T., Harata T., Kimura K., Nakaya S., Ishigami T. and Nakamura K., 1988, Shimanto Belt in the Kii Peninsula, Southwest Japan. *Modern Geology*, **12**, 71-96.
- 黒川克己, 1990, 水底に堆積した珪長質テフラの層相モデルとその形成機構運搬—新潟地域の例—。地球科学, **44**, 361-378.
- 中沢圭二, 1965, 和歌山県温泉調査報告書・竜神村。和歌山県衛生部, 2-14.
- Niem, A.R., 1977, Mississippian pyroclastic flow and ash-fall deposits in the deep-marine Ouachita flysch basin, Oklahoma and Arkansas. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **88**, 49-61.
- 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, 竜神地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 69p.
- 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「四万十帯褶曲帯の形成過程」研究成果報告書, 145-153.
- 柳井修一, 1983, 四万十地帯斜南縁部における後期白亜紀酸性火山活動。火山, **28**, 11-23.

(要 旨)

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, 38号, 271-280. (Sakamoto, T. and Bessho, T., 1992, The formation of sandstones associated with acidic tuff: an example of the Chibikiyama acidic tuff in the Ryujin Formation of the Shimanto Supergroup, Kii Peninsula, Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, No.38, 271-280.)

紀伊半島四万十累帯日高川層群竜神累層(カンパニアン～マストリヒシアン)には, 多量の酸性凝灰岩が挟在されている。それらの多くは, 薄層理で細粒であるが, 御坊市南東部の千疋山周辺には厚層理で粗粒の酸性凝灰岩が分布している(千疋山酸性凝灰岩)。その構成岩相である軽石質凝灰岩は, 内部構造の特徴から密度流で形成されたか, あるいは ash flow turbidite であると考えられる。またこの凝灰岩と重なりあう凝灰質砂岩は, 純粋な凝灰岩と通常の砂岩との中間的なモード組成を示す。しかも脆弱な軽石や火山ガラスも多く含むことから, 凝灰質砂岩の形成には, 酸性凝灰岩の淘汰・分級とともに, 非火山性碎屑物との混合が大きな役割を果たしたと推定される。竜神累層には凝灰質砂岩がよく発達しており, 竜神累層の粗粒堆積物の形成には, 堆積と同時期の火山噴出物からの寄与が大きかったものと考えられる。