

古第三紀宇部層群中の凝灰岩のフィッション・トラック年代と Sr 同位体比

Fission-track ages and Sr isotope ratios of tuffs in the Paleogene Ube Group, SW Japan

今岡照喜 松本崇雅
松里英男 松尾征二
飯泉 滋 岩野英樹

*Teruyoshi Imaoka,
Takamasa Matsumoto,
Hideo Matsusato, Seiji Matsuo,
Shigeru Iizumi and Hideki Iwano*

地質学雑誌 第109巻 第2号 別刷

2003年2月

THE JOURNAL OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF JAPAN VOL. 109 NO. 2

February 2003

古第三紀宇部層群中の凝灰岩のフィッション・トラック年代と Sr 同位体比 Fission-track ages and Sr isotope ratios of tuffs in the Paleogene Ube Group, SW Japan

Abstract

今岡照喜* 松本崇雅**†
松里英男** 松尾征二***
飯泉 滋**** 岩野英樹*****

*Teruyoshi Imaoka**,
*Takamasa Matsumoto**†*,
*Hideo Matsusato***, *Seiji Matsuo****,
*Shigeru Izumi***** and *Hideki Iwano******

2002年6月25日受付.

2002年12月18日受理.

* 山口大学理学部地球科学教室
Department of Earth Sciences, Faculty of
Science, Yamaguchi University, Yamaguchi,
753-8512, Japan

† 現所属 株式会社ニチポー長崎支店
Nagasaki Branch, Nichiboh Co., Ltd., Kayana
1840, Tarami-cho, Nishisonogi-gun, Nagasaki,
859-0401, Japan

** 山陽町教育委員会
Sanyo-cho Board of Education, Asa-gun,
Yamaguchi 757-8634, Japan

*** 山口市陶 976
Sue 976, Yamaguchi 754-0891, Japan

**** 島根大学総合理工学部地球資源環境学教室
Department of Geoscience, Faculty of Science
and Engineering, Shimane University, Matsue,
690-8504, Japan

***** 株式会社京都フィッション・トラック
Kyoto Fission-Track Co., Ltd., 44-4
Minamitajiri-cho, Omiya, Kita-ku, Kyoto,
603-8832, Japan

Tuffs occur interbedded with coal-bearing clastic sedimentary rocks of the Upper Member of the Paleogene Ube Group, SW Japan. We examined the eruptive source of these tuffs using geochronological, petrochemical and Sr isotopic data. The tuffs consist of crystal and lithic fragments, and glassy matrix altered to clay minerals. The crystal fragments comprise plagioclase (An : 34-45%), quartz, magnetite and ilmenite, whereas the lithic fragments are andesite lava and felsite. The tuffs yield fission-track zircon ages of 36.0 ± 2.1 and 34.6 ± 1.5 Ma, which are consistent with the age indicated by the vertebrate fossil, *Amynodon watanabei* and plant remains. Eight plagioclase samples separated from the tuffs have low initial Sr isotope ratios, ranging from 0.7043 to 0.7049. These ratios are similar to those of Cretaceous-Paleogene granitic rocks from the North Zone of SW Japan, as delineated by other work. The data indicate that the tuffs were probably derived from a volcano in the Paleogene volcanic front, which extended along the Japan Sea from the eastern San-in district to Tsushima Strait.

Key words : tuff, Oligocene, Eocene, fission-track age, Sr initial ratio, Ube Group, Yamaguchi Prefecture

はじめに

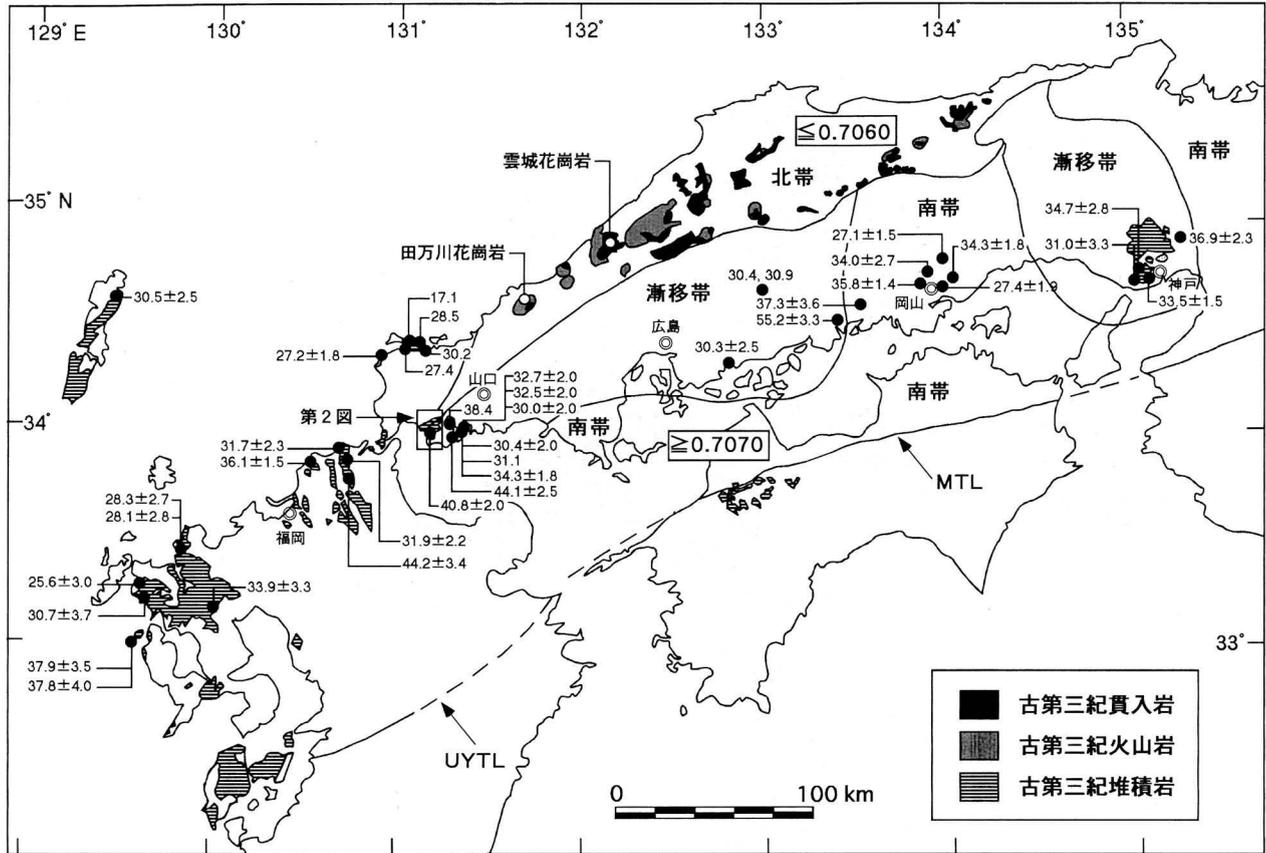
従来、西南日本内帯の古第三系は九州北部、山口県西部の宇部地域および四国の久万地域にしか知られていなかった。

しかし近年、始新世～漸新世のフィッション・トラック年代(以降 FT 年代と略記) および K-Ar 年代を示す凝灰岩が多くこの地域から報告されてきた(第1図)。すなわち、近畿・中国地方では、神戸層群(尾崎ほか, 1996)、岡山県の“山砂利層”(Suzuki, 1996)・女官層(松浦ほか, 2002)、広島県の安芸津層(松浦, 2001)・福山層(松浦ほか, 2002)・世羅台地の“山砂利層”(山崎ほか, 2002)、山口県の宇部層群(木村・辻, 1990, 1992; 石田ほか, 1994; 今岡ほか, 1999)

・日置層群(村上ほか, 1989; 尾崎, 1999)、九州では福岡県の芦屋層群・大辻層群・宗像層群・直方層群(以上、尾崎・濱崎, 1991)、長崎県の西彼杵層群・相浦層群(宮地・酒

井, 1991)と対州層群(高橋・林, 1987; Sakai and Yuasa, 1998)、佐賀県の杵島層群(宮地・酒井, 1991)がある。酒井(1992, 1994)、酒井・川原(1998)および今岡ほか(1999)はそれら凝灰岩の供給源となった火山を問題視するとともに、凝灰岩層による広域対比の可能性や西南日本の古第三紀の火成活動の実態を解明する上で凝灰岩が重要な意義をもつことを指摘している。しかし、これら凝灰岩の岩石学的諸特性については神戸層群(谷・中川, 2001)や宇部層群(今岡ほか, 1999)の一部について検討されてはきたものの十分とは言えず、第四紀火山について行われているような広域テフラの識別・対比や給源火山の推定と同様のことを古第三紀凝灰岩で試みた研究例は既述のものに限られる。

宇部層群の層序・構造に関しては、宇部炭田の地質に関する研究(徳永・飯塚, 1930; 鈴木・三原, 1949)にはじまり、海底部の炭田開発調査による試錐によって確立された(第2



第1図 西南日本の古第三紀火成岩類および堆積岩（凝灰岩を含む）分布図（地質調査所，1992）ならびに古第三紀凝灰岩のジルコン FT 年代（本文参照）。三室花崗岩と光守花崗岩については，松浦（1998）によって白亜紀後期の黒雲母 K-Ar 年代が報告されたので，それらの分布を削除した。図中の北帯，南帯，漸移帯の区分は Kagami et al. (1992) による花崗岩類の Sr 同位体初生値の広域変化の分帯を示す。MTL：中央構造線，UYTL：白杵-八代構造線

地層名	層序		主要炭層とその層厚 (cm)	FT 年代 (Ma)	
	海底部	陸上部			
宇部山層群	長沢 60m± 沖ノ山層	宇部	上部層	第5図	
			40-60m	一重石 40-70 二重石 30-50	36.0±2.1 34.6±1.5
			中部層 20m±	大派土石	40.8±2.0
	85-90m	夾炭層	下部層	五段 120-150 二段 30-60 三尺 30-130 四尺	
			30-50m		
	東見初層	厚東川礫岩層 50-100m			

第2図 山口県宇部-小野田地域における古第三紀宇部層群の層序区分と FT 年代 (清原，1956；瀬戸，1972；高橋，1975 のデータに基づき河野ほか，1987 がまとめたものを改訂)。

図；清原，1952；松本・瀬戸，1961；瀬戸，1966）。その後，陸上部については海底部のデータと対比して層序が組み立てられた (清原，1956；高橋ほか，1960，1961，1963，1974)。しかし露頭状況の悪い陸上部における地質・岩石記載は十分とはいえない。

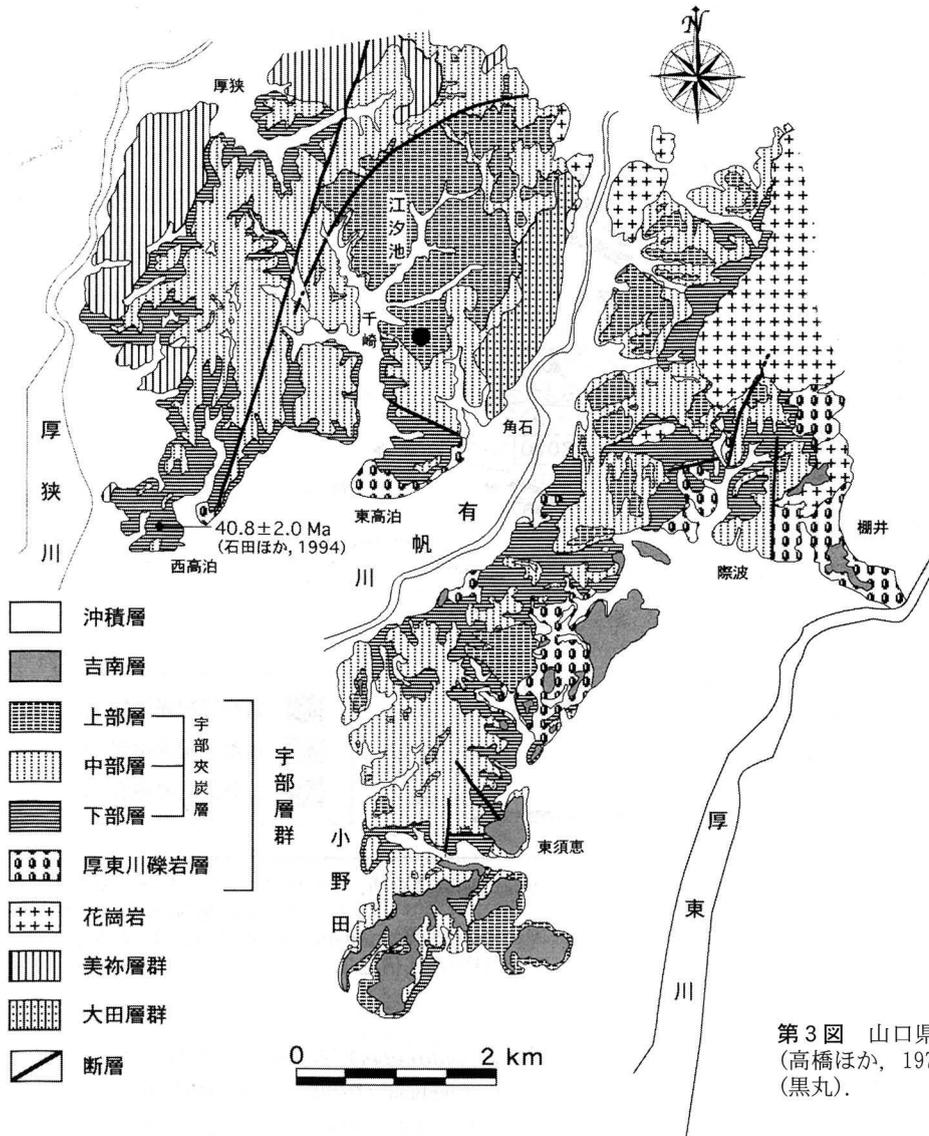
宇部層群の堆積時代は Takai (1945) によるサイ化石

(*Amynodon watanabei*) の発見により始新世，あるいは Huzioka and Takahasi (1970) による植物化石により中～後期始新世とされてきた。近年，既述のような FT 年代が報告されているものの宇部層群全体の堆積年代を結論づけるまでには至っていない。

山口県小野田市千崎^{ちざき}において，山陽自動車道小野田インターチェンジ建設工事中 (2000 年) に数枚の凝灰岩層を挟む宇部層群の大露頭が出現し，筆者らはこの露頭の観察や試料採取を行う機会に恵まれた。この小論ではこの凝灰岩の産状，岩石記載，鏡下観察，ジルコンの FT 年代測定，斜長石の Sr 同位体比測定結果について報告し，宇部層群の堆積年代と凝灰岩の供給源となった火山について検討する。

地質概説

第3図は高橋ほか (1974) による山口県小野田市およびその周辺地域の地質図である。大田層群などの基盤岩類については西村ほか (1995) に従い改訂した。さらに千崎付近の中部層と上部層の分布についても再検討を行い改訂した。本地域の地質は，古い方から，先第三系基盤岩類 (ペルム紀大田層群，トリアス紀美祢層群，白亜紀花崗岩)，古第三紀宇部層群，および第四系 (古南層^{きなん}，沖積層) に大別される。大田層群は角石付近に，花崗岩は北東部に分布する。



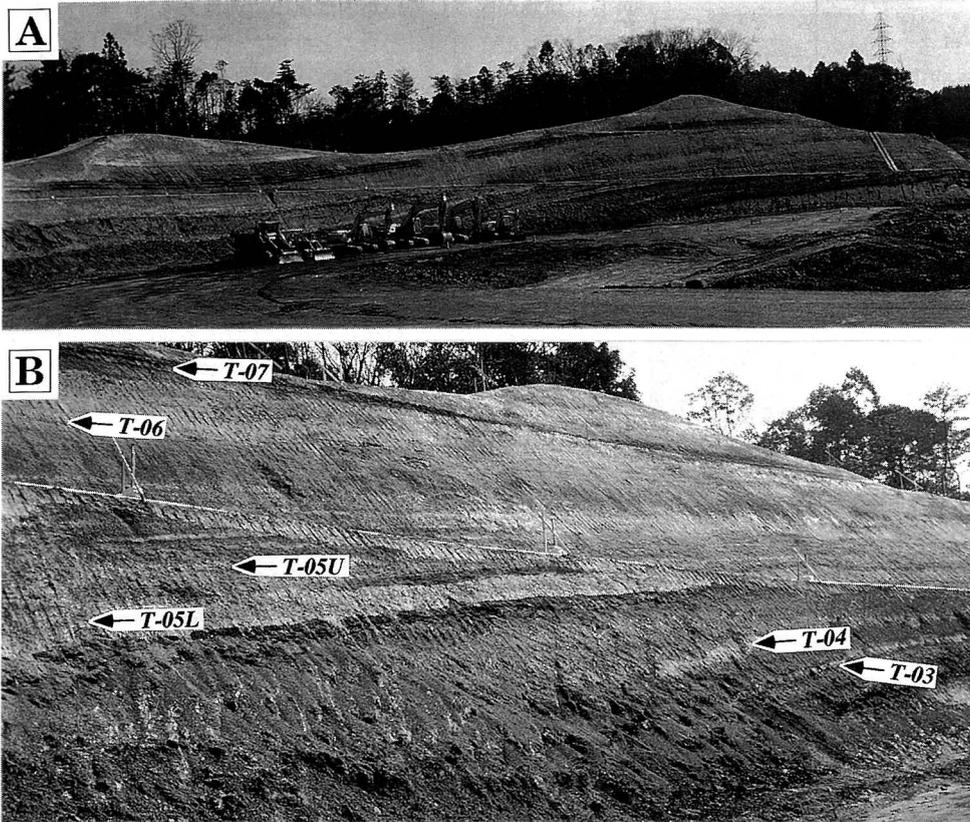
第3図 山口県小野田市およびその周辺の地質図 (高橋ほか, 1974 を一部改変) および試料採取地点 (黒丸).

宇部層群の層序・構造については、既述のように多くの調査報告があり、それらは高橋 (1975) や河野ほか (1987) により総括されている。それによると、本層群は宇部市周辺の丘陵から南側の海底にかけて分布し、海底部では下位より、東見初層、沖ノ山層、長沢層に3分される (第2図, 松本・瀬戸, 1961)。東見初層は粗粒ないし中粒砂岩と頁岩の互層からなり、3枚の炭層および礫岩層を挟む。沖ノ山層は四尺層から一重石層にいたる間の主要炭層を含む地層である。宇部沖の試錐岩芯の重鉱物組成の詳細な検討からは、沖ノ山層の堆積時期に火山活動が活発化したと推定されている (小原, 1968)。長沢層には椽行に堪える炭層はない。一方、陸上部では下位の厚東川礫岩層と上位の宇部夾炭層に2分される。宇部層群は全体として南に緩やかに傾斜し、西部では江汐池を中心とした緩やかな向斜構造を示す。

厚東川礫岩層は海底部の東見初層に対比され、主に厚東川流域に分布する。固結度の高い礫岩層で、礫岩、含礫砂岩のほか、一部に凝灰岩の薄層を挟む。最大層厚は約100mであるが、南側ほど層厚を減じる。礫は亜円礫～垂角礫で、

礫種としては凝灰岩・花崗岩・結晶片岩・砂岩・頁岩がある。

宇部夾炭層は海底部の沖ノ山層と長沢層の一部に対比される。鍵層となる主要炭層 (五段層と大派層) をもとに下部層・中部層・上部層の3部層に区分されている (第2図, 清原, 1956)。高橋ほか (1974) もこの区分が陸上部では最適であることを再確認している。下部層は五段層までの地層で、主に砂岩と頁岩の互層からなり、五段層以下4枚の炭層を挟む。層厚は30～50mである。五段層は厚く (120～150cm)、炭質・連続性ともによく、その上部には層厚10cm程度の白色凝灰岩を伴う。この凝灰岩は、従来、「白ボタ」あるいは「ヒール硬」などと称され、それが鍵層として重要であることは、すでに田村 (1955) によって注目されていた。中部層は五段層より上位から大派層 (110～170cm) の最上部までの地層で、その下部は頁岩と細粒砂岩の互層からなり、粘土化した白色凝灰岩の薄層を挟む。上部は主に中～粗粒砂岩であるが、ところにより礫質となり、斜交葉理が見られ、土石層と大派層の2枚の炭層を挟む。層厚は約20mで



第4図 山口県小野田市千崎^{ちどき}における小野田インターチェンジ建設工事中出现した凝灰岩層を挟む大露頭。A. 露頭のほぼ全景。黒っぽく見えるのが炭質シルト岩層および炭層。B. 連続性が良く、ほぼ一定の厚さの凝灰岩層の産状。

ある。上部層は大派層より上のおもに砂岩と頁岩の互層からなる地層で、下部に二重石層と一重石層の2枚の炭層を挟む。層厚は40~60 mである。本層は江汐池周辺など盆状構造の中心部に分布している。炭層は薄く稼行の対象になりにくいため、これまで十分な調査が行われていない。

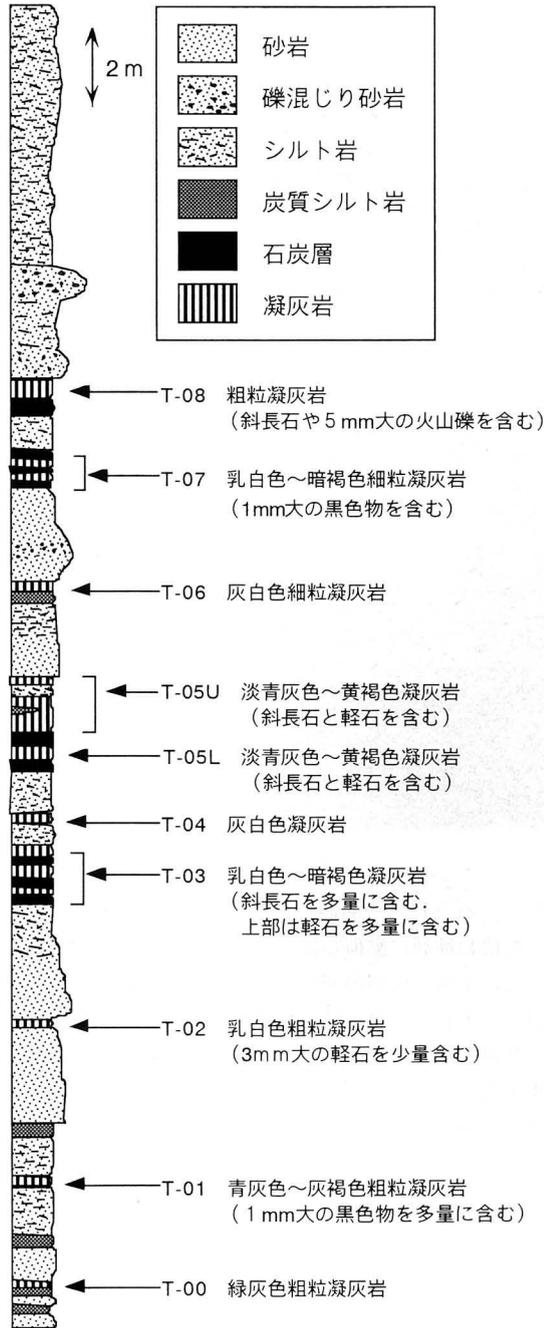
凝灰岩の層準と岩石記載

研究試料の採取地点(小野田市千崎の小野田インターチェンジ工事現場)を第3図に黒丸印で示す。また工事現場で見られた凝灰岩層を含む宇部層群の露頭写真を第4図に、柱状図を第5図に示す。柱状図に示す地層の全層厚は36 mにも及ぶ。全体的に連続性のよい地層(第4図)で、下部は砂岩が、上部はシルト岩が優勢で、その間に炭質シルト岩・石炭と層厚0.2~1.5 mの連続性のよい凝灰岩層を挟む(第5図)。連続性のよい凝灰岩を下位の層準からT-00~T-08とする。凝灰岩は炭質シルト岩や石炭層の上下にくる傾向がある(第5図)。

炭層は大きく見て3つの層準に見られる。最下位の炭層は、層厚20~30 cmのものが3枚あり、それぞれの炭層にはほぼ同じ厚さの凝灰岩(T-03)が累重する。中位の炭層は層厚25 cmのものが2枚あり、部分的に良質の褐炭を含む石炭層で、間に層厚40 cmの凝灰岩(T-05L)を挟む。上位の炭層は層厚10~50 cmのものが3枚あり、層厚10~15 cmの凝灰岩(T-07)とシルト岩を挟んでいる。これら3層準の炭層の層厚や枚数および層序全体の特徴は、徳永・飯塚(1930)で詳述されている高千帆中央小区の長門炭坑で確認

されている三尺(一名四石)、一重、眞鹿と呼ばれる3層の炭層を挟む地層に酷似している。鈴木・三原(1949)によると、この地域の炭層の三尺、一重は宇部地域の宇部夾炭層上部層の二重石、一重石に対比されていることから、試料を採集した露頭は宇部夾炭層の上部層に対比される。さらに、千崎東方約500 mに位置する旧萩森炭鉱の炭層柱状図・炭層露頭図(宇部市立郷土資料館所蔵、広島通産局宇部石炭支局寄贈)によれば当該地域の炭層は大派層よりも上位の炭層に限定されることから上記の推定が支持される。

採取した凝灰岩のうち、T-00、T-02およびT-04は風化のために非常に脆く、薄片を作成して鏡下観察をすることができなかった。そのほかの凝灰岩は、T-03に斜長石が多量に含まれていることを除けば、類似した特徴を示すので一括して記述する。肉眼で斜長石は極めて新鮮・透明で、このような斜長石は周辺の基盤岩類中には通常全く認められない。凝灰岩の鏡下写真を第6図に示す。斜長石の結晶、火山岩片及び少量の石英が含まれ、その周りを基質が埋めている。斜長石は自形ないし他形破片状で急冷によるホローが観察される(第6図D)ことがある。また、しばしばアパタイトを包有している(第6図E)。火山岩片には自形の斜長石を含む安山岩溶岩と珪長岩が認められる。これらの岩片は凝灰岩が後述のように安山岩~流紋岩質のマグマに由来すると推定されるので、類質岩片と考えられる。この地域の基盤をなす大田層群の頁岩・砂岩・チャート、美祿層群の砂岩・頁岩、花崗岩の異質岩片は皆無である。基質はほとんど軽石細片や火山ガラス片からなり、これらは粘土鉱物に変質している。



第5図 試料採取地点の柱状図.

凝灰岩の薄片7枚のモード測定を行った。結果を第7図に示す。基質は44～70%，斜長石は17～50%，火山岩片は1～15%，石英は1%以下である。磁鉄鉱とイルメナイトは融食を受けた半自形～他形結晶として基質中に認められるほか、稀に斜長石に包有されていることがある。後述する斜長石の分離過程ではかなりの磁鉄鉱が見出された。凝灰岩はカリ長石を全く含まず、石英も少量しか含まないことから、基盤をなす花崗岩などからの二次堆積による異質岩片や異質結晶の混入がなかったことが分かる。

以上の記載から、凝灰岩は火山灰や細粒軽石からなる降下火砕堆積物で、石炭や炭質シルト岩などに伴われることか

ら、植物が繁茂していた内湾奥の沼沢地あるいは蛇行河川の氾濫原などに堆積したものと推定される(君波、私信)。

フィッション・トラック年代

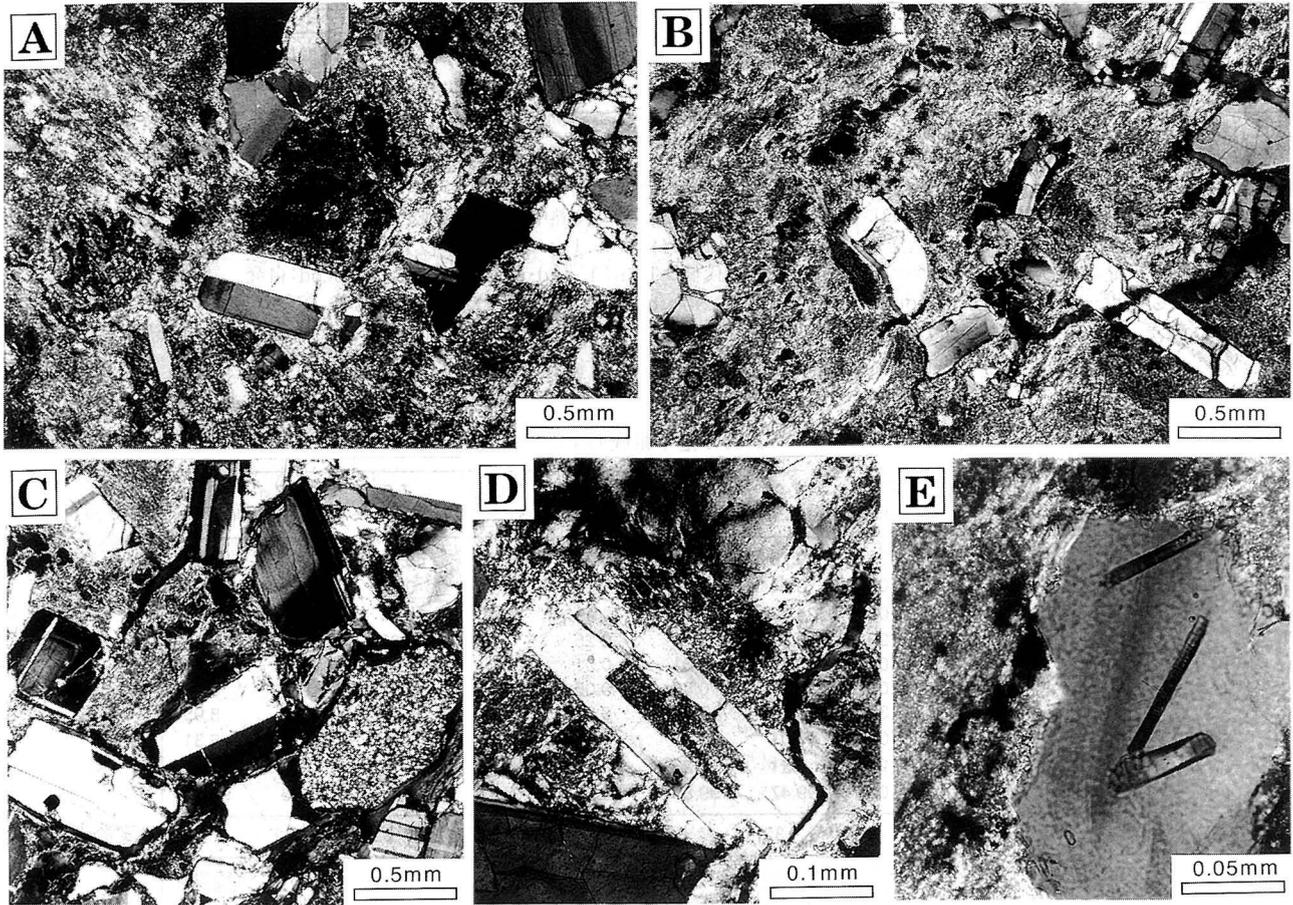
凝灰岩層のうちある程度の層厚があって連続性が良く、かつ上下の地層がT-02のように砂岩で挟まれていないT-01とT-05Lに含まれるジルコンのFT年代測定を行った。石炭層や炭質シルト岩あるいはシルト岩に伴われる凝灰岩の方が、砂岩や礫岩に伴われる凝灰岩よりも異質岩片などの外来物質の混入を避けられると考えたからである。測定に供した試料の顕微鏡写真を第6図(A, B)に示した。ジルコンの分離については、凝灰岩試料約0.5 kgを乾燥させた後、ステンレス乳鉢で粉碎し、水洗を行った。60メッシュによる篩別した後、細粒分について椀かけにより重鉱物を濃集し、SPT(ポリタングステン酸ナトリウム)重液を用いて比重分離した。重鉱物としてジルコンの他に黄鉄鉱が入っていたため、硝酸液で溶解させ、またジルコンに付着した汚れを除去するために、フッ化水素酸に一昼夜浸した。その結果、3000～5000粒のジルコン結晶が得られた。これらのジルコンの外部面について、白雲母を誘導FTのディテクターとする外部ディテクター法でFT年代を測定した。測定はDanbara and Iwano (2001)に準拠した測定ルーチンで行った。照射には日本原子力研究所JRR4号炉気送管を使用し、 ^{235}U 全壊変定数 λ_0 は $1.55125 \times 10^{-10}/\text{年}$ を用いた。エッチング条件はKOH:NaOH共溶融液を用いて、225°Cで28～30時間行った。測定結果を第1表に示す。

T-01の凝灰岩には淡褐色の自形ジルコン結晶が大量に含まれる。これらは、色調・晶癖・自発FT密度に大きな違いが認められず、均質な結晶群と判断された。したがってFT年代試料としては良質である。ランダムに測定した30粒子のデータは比較的よくまとまっている。 χ^2 検定(Galbraith, 1981)の結果は有意水準(5%)を越えており、異質年代結晶の混入は指摘されない。したがって算出された年代値 $34.6 \pm 1.5 \text{ Ma}$ は信頼度の高いものと判断される。

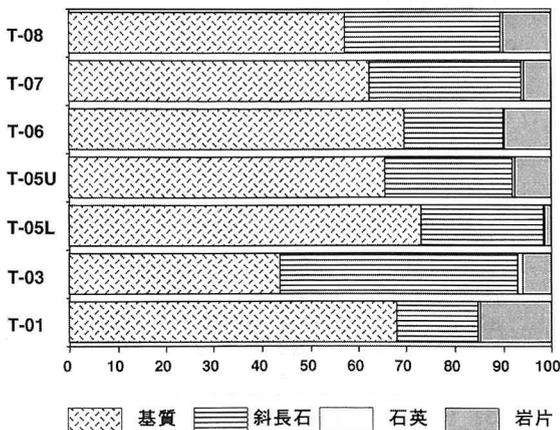
T-05Lの凝灰岩には淡褐色の自形ジルコン結晶のほか赤褐色のジルコンが約2%混在し、不均質さが認められた。そこで赤褐色結晶を外來結晶と仮定して、大部分を占める淡褐色結晶を対象として30粒子を測定した。測定した30粒子のデータは比較的よくまとまり χ^2 検定に合格する。したがって、これらの粒子を同一起源とみなして年代値 $36.0 \pm 2.1 \text{ Ma}$ を算出した。

凝灰岩2試料のジルコンのFT年代は $34.6 \pm 1.5 \text{ Ma}$ と $36.0 \pm 2.1 \text{ Ma}$ で、両者は誤差範囲内で一致した。いずれの年代も χ^2 検定に合格していることから、信頼度の高い年代と考えられる。今岡ほか(1999)によって報告された白岸凝灰岩のFT年代(30.0 ± 2.0 , 32.5 ± 2.0 , $32.7 \pm 2.0 \text{ Ma}$)と比較すると、年代は誤差を越えて古い。また白岸凝灰岩中のジルコンのウラン濃度(340～410 ppm)はこの度検討したジルコンのそれ(90, 230 ppm)より高いので、直接の層序関係は不明であるが層準は違うと考えられる。

木村・辻(1990)は当該地域(小野田市有帆真土郷^{まっちごう})で



第 6 図 凝灰岩の顕微鏡写真 (全てクロスニコル)。A. 凝灰岩の代表的な試料。FT 年代測定に使用 (T-01)。B. 凝灰岩の代表的な試料。FT 年代測定に使用 (T-05 L), 軽石片の繊維状組織が見られる。C. 斜長石を多く含む凝灰岩。写真の右側には珪長岩の岩片 (Fe) が見られる (T-03) D. 斜長石のホロー (T-06)。E. 斜長石中のアパタイト (T-05 L)



第 7 図 凝灰岩のモード分析結果を示す帯グラフ。

38 Ma の FT 年代を発表しているが、データの誤差、正確な採取場所や層準、データの詳細がわからないのでその年代値については議論しない。石田ほか (1994) は報告地域の南西の小野田市西高泊黒葉山東方で 40.8 ± 2.0 Ma のジルコン FT 年代値を報告している (第 2 図)。その試料採取地点は、下部層最上部にあたることから、本報告の年代と矛盾しない。

従来、宇部夾炭層の年代は産出化石植物群から中～後期始新世 (高橋, 1975), 炭層上部から見つかった哺乳動物のサイ亜目化石から始新世最末期 (Takai, 1945) と推定されており、それらとも矛盾しない。

斜長石の化学組成と Sr 同位体比

既述のように凝灰岩中の斜長石は極めて新鮮である。そこで凝灰岩中の斜長石を分離し、その化学組成と Sr 同位体比を測定した。分離方法は、まず岩石を粉砕し超音波洗浄後、60～150 と 150～235 メッシュ・サイズの 2 つのフラクションに篩分けした。磁鉄鉱などの強磁性鉱物を磁石で取り除き、電磁分離と重液 (ケレリチ重液) 分離を繰り返した。超音波洗浄を長時間行うことと最後に塩酸処理を行うことで、表面あるいは結晶の割れ目などに付着した不純物を完全に除去した。

1. 化学組成

斜長石のバルク組成を分析した。分析には山口大学機器分析センターに設置の全自動蛍光 X 線分析装置 (理学電気工業社製 RIX 3000) を用いた。分析方法の詳細や分析精度は梅本ほか (2000) に記述されている。分析結果を第 2 表に示す。斜長石の An% は 33.5～45.1 で、アンデシンの組成を示

第1表 フィッション・トラック年代の測定結果

試料名	結晶数 (個)	自発核分裂片飛跡 $\rho_s (\times 10^6 \text{cm}^{-2})$ (Ns)	誘導核分裂片飛跡 $\rho_i (\times 10^6 \text{cm}^{-2})$ (Ni)	χ^2 検定 $P(\sigma^2)$ (%)	熱中性子線量 $\rho_d (\times 10^6 \text{cm}^{-2})$ (Nd)	相関係数 r	U濃度 (ppm)	年代値 (Ma)
T-01	30	2.41 (1528)	2.11 (1343)	65	10.38 (2656)	0.802	230	34.6 ± 1.5
T-05L	30	1.02 (764)	0.861 (645)	82	10.37 (2656)	0.721	90	36.0 ± 2.1

(1)測定手法:外部ディテクター法をジルコン外部面に適用 (ED2法), (2)熱中性子線量測定用標準ガラスは IRMM-540 を使用, (3)照射場所:日本原子力研究所 JRR-4 号炉気送管, (4) $P(\chi^2)$: χ^2 値の自由度 $n-1$ (n は粒子数)の χ^2 分布における上側確率 (Galbraith, 1981) (5)相関係数:自発および誘導 FT 密度の相関係数, (6)年代値: $T = \ln(1 + \lambda d \cdot \zeta \cdot \rho_s \cdot \rho_d / \rho_i) / \lambda d$; ρ_s, ρ_i, ρ_d : 自発, 誘導, 線量ガラスそれぞれの FT 密度, ζ : ゼータ値, (7)誤差: $\sigma_T = T \cdot [1 / \sum N_s + \sum N_i + \sum N_d + (\sigma_\zeta / \zeta)^2]^{1/2}$; $\sum N_s, \sum N_i, \sum N_d$: 自発, 誘導, 線量ガラスそれぞれの総 FT 数, σ_ζ : ζ の 1 σ 誤差, (8) ^{238}U の全壊変定数: $\lambda_d = 1.55125 \times 10^{-10} \text{y}^{-1}$, (9)ゼータ値: $\zeta_{\text{ED2}} = 294 \pm 3$ (1 σ) (Danhara and Iwano, 2001).

第2表 斜長石の化学組成および Sr 同位体比

Sp No.: mesh	T-01	T-03	T-05L1	T-05L2	T-05U	T-06	T-07	T-08
	#60-150	#60-150	#60-150	#150-235	#60-150	#60-150	#60-150	#60-150
SiO ₂	59.95	59.78	60.48	60.71	57.64	58.83	58.57	57.69
TiO ₂	0.03	0.04	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.04
Al ₂ O ₃	25.02	24.72	24.60	24.49	26.48	25.61	25.82	26.26
FeO*	0.29	0.37	0.25	0.25	0.39	0.33	0.38	0.39
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	0.06	0.06	0.06	0.05	0.09	0.06	0.07	0.06
CaO	7.38	7.27	7.00	6.87	9.24	8.22	8.41	8.95
Na ₂ O	7.07	7.01	7.23	7.38	6.09	6.60	6.70	6.31
K ₂ O	0.26	0.21	0.23	0.23	0.18	0.22	0.17	0.16
Total	100.06	99.47	99.87	99.99	100.16	99.91	100.16	99.87
O=	32	32	32	32	32	32	32	32
Si	10.692	10.720	10.786	10.812	10.331	10.534	10.478	10.366
Ti	0.004	0.005	0.003	0.003	0.005	0.004	0.005	0.006
Al	5.258	5.224	5.170	5.140	5.594	5.405	5.443	5.560
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.043	0.055	0.038	0.037	0.059	0.050	0.057	0.059
Mn	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.015	0.016	0.016	0.012	0.024	0.017	0.018	0.017
Ca	1.410	1.397	1.338	1.312	1.774	1.577	1.613	1.723
Na	2.445	2.437	2.500	2.547	2.117	2.290	2.323	2.198
K	0.059	0.048	0.052	0.053	0.040	0.050	0.038	0.036
Mol% Or	1.5	1.2	1.3	1.3	1.0	1.3	1.0	0.9
Mol% Ab	62.5	62.8	64.3	65.1	53.8	58.5	58.5	55.6
Mol% An	36.0	36.0	34.4	33.5	45.1	40.3	40.6	43.5
Ba	136	130	134	156	78.5	107	100	68.9
Ga	23.8	23.9	22.2	22.9	24.1	22.4	22.7	22.7
Ni	1.2	1.0	1.1	0.1	4.1	1.1	1.5	1.2
Pb	10.9	9.5	6.6	7.7	3.4	7.7	3.7	5.7
Rb	4.5	3.1	4.0	4.3	4.1	3.6	4.2	3.4
Sr	764	830	688	673	802	737	784	711
V	5.0	2.8	4.1	2.8	3.7	2.0	4.3	3.7
Zn	17.8	18.6	30.2	16.9	14.1	15.1	18.5	15.7
U	3.2	2.8	3.1	3.1	3.1	3.3	2.9	3.4
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr ratio	0.704570	0.704897	0.704653	0.704645	0.704533	0.704562	0.704529	0.704341
error	0.000009	0.000010	0.000009	0.000009	0.000009	0.000009	0.000009	0.000010
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr ratio	0.0170	0.0108	0.0168	0.0185	0.0148	0.0141	0.0155	0.0138
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr initial ratio	0.704560	0.704891	0.704643	0.704634	0.704524	0.704554	0.704520	0.704333

FeO*: total Fe as FeO

す。微量元素の含有量についてみると, Ba (69-156 ppm) や Sr (673-830 ppm) でやや変化幅が大きい, Ga (22.2-24.1 ppm), Rb (3.1-4.5 ppm), V (2.0-5.0 ppm), Zn (14.1-30.2 ppm), U (2.8-3.4 ppm) の変化幅は比較的小さい。

2. Sr 同位体比

上記の XRF 分析に用いたのと同じ試料について Sr 同位体比の測定を行った。同位体比の測定は島根大学総合理工学部の表面電離型質量分析計 (MAT 262) を使用し, 測定方法は

飯泉 (1996) に従った。この方法による Sr 同位体の標準試料 (NBS 987) や地質調査所 (現在, 産業技術総合研究所) の標準試料についての測定結果については Iizumi et al. (1994) に報告されている。上記斜長石試料の測定と同時に測定した Sr 同位体標準試料 NBS987 の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は, 0.710212 ~ 0.710231 (± 0.000009 , 2σ) であった。これらの値は, 多くの研究機関から公表されているデータと一致していることから, 測定されたデータについての標準試料による補正は行っていない。

測定結果を第 2 表の下段に示す。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は 0.7043 ~ 0.7049 で, いずれも 0.705 以下のほぼ類似した値を示す。先述の FT 年代 36 Ma とそれぞれの $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比および $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比から Sr 同位体比初生値 (SrI) を計算すると, 0.7043 ~ 0.7049 になる。この値は今岡ほか (1999) による白岸凝灰岩のそれ (0.7046 ~ 0.7049) と重複し, 宇部層群では層準が異なっても Sr 同位体比初生値は一貫して低い値となり, 宇部層群の凝灰岩の特徴の一つとして対比材料になりうることを指摘できる。また, Kagami et al. (1992) による西南日本花崗岩類の Sr 同位体比初生値の分布図の区分による北帯に対比される。このことより凝灰岩は北帯にある始新世の火山岩と Sr 同位体的に同じ起源物質に由来すると推定される。

凝灰岩の供給源となった火山の推定

以上述べてきた宇部層群宇部夾炭層中の凝灰岩の産状, 岩石記載, ジルコンの FT 年代, 斜長石の化学組成及び Sr 同位体の測定結果に基づき, その供給源となった火山あるいは火山体の推定を行いたい。

まず, FT 年代から検討する。宇部層群宇部夾炭層上部層中の凝灰岩については今回新たに 36.0 \pm 2.1 Ma と 34.6 \pm 1.5 Ma のジルコン FT 年代値が得られた。この値は従来, 産出化石から宇部夾炭層が中~後期始新世もしくは始新世最末期と考えられていたことと整合的である。始新世から漸新世の火成活動は宇部層群分布域では知られておらず, 最も近いところでは山口県北部に位置する田万川コールドロン (村上, 1973) の火成活動があげられる。第 1 図には古第三紀貫入岩類と火山岩の分布域を示している。田万川コールドロンは山陰西部から, 佐渡, 北海道に連なる古第三紀火山帯の一員をなすものである。この火山帯は日本海に沿って直線状に配列した火山フロントを形成している。岩体によっては削剥レベルの違いから深成岩だけしか露出していない岩体や火山岩だけしか露出していない岩体もある。今岡ほか (1994) の総括によれば, この火山体の活動は 42 ~ 30 Ma (始新世 ~ 漸新世) で, 凝灰岩のジルコン FT 年代と対応している。凝灰岩中の斜長石の化学組成 (An 35-45%) からは安山岩 ~ 流紋岩質のマグマが推定されるが, 古第三紀田万川コールドロンや同時代の火成活動は今岡 (1986) や Imaoka et al. (1988) によって総括されているように, 安山岩 ~ 流紋岩質の火成活動が主体である。少量の玄武岩の活動も知られるが, 溶岩流としてだけしか知られていない。最も大規模な活動はデイサイト ~ 流紋デイサイト質の火砕岩を噴出するものである。宇部層群試錐試料の重鉍物に関する系統的な研究結果から沖ノ

山層の凝灰岩質砂岩には他の層準の試料に比較して磁鉄鉱が多量に含まれ, この時期に火山活動が活発化したことが推定されている (小原, 1968)。凝灰岩中に磁鉄鉱を含むことも, 田万川コールドロンをはじめとする同時代の火成岩類の特徴 (Imaoka et al. 1982; Imaoka and Nakashima, 1983) に一致する。最近, 松浦・妹尾 (2000) は岡山県玉野市番田で 28.2 Ma, 倉敷市串の山で 43.4 Ma の玄武岩溶岩を見出し, 山陽側で古第三紀の活動があったものとした。しかし, 宇部夾炭層上部層中の凝灰岩の供給源としては岩質の点から除外される。

Iizumi and Kagami (1987) 及び Kagami et al. (1992) は中国-瀬戸内地域における白亜紀-第三紀花崗岩の Sr 同位体比初生値 (SrI) の地域的変化を検討し, 北側の SrI = 0.704-0.706 の地域 (北帯) と南側の SrI = 0.706-0.708 あるいはそれ以上の値を持つ地域 (南帯) を区別した (第 1 図)。このような地域的相違は Shibata and Ishihara (1979) によってもすでに報告され, その要因としてマグマの起源物質となりうる下部地殻あるいは上部マントル物質の地域による違い, あるいはマグマ上昇過程における地殻物質の同化作用の差異などが考えられている。また, 今岡ほか (1999) は, 山陰西部に分布する古第三紀花崗岩 (田万川花崗岩と雲城花崗岩) について 0.704640 ~ 0.704841 の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を報告している。既述の FT 年代 36 Ma で Sr 同位体比初生値を計算すると, 0.7045 ~ 0.7047 で凝灰岩と類似した値となる。今回の斜長石の Sr 同位体初生値は北帯のそれと同じ起源物質をもつマグマに由来することを示している。

以上のデータから, 今回報告した宇部層群宇部夾炭層上部層中の凝灰岩の供給源となる火山としては, 古第三紀田万川コールドロンなどから構成される古第三紀火山帯をあげることができる。しかし, 現在われわれはこの火山帯を構成する個々の火山を識別しうるほどの岩石学的あるいは年代学的な基準を持ち合わせていない。したがってこの火山帯のどの火山が供給源となったかは不明である。偏西風に乗せられて運ばれたのであれば, この火山帯の西方延長を考えなければならない。宇部層群の凝灰岩の堆積した時代は, 西南日本弧の中期中新世における時計回りの回転 (Otofuji and Matsuda, 1983) 以前であることを考慮すると, 現在の北ないし北西に供給源を想定することも可能である。酒井 (1994) はそのことを考慮して, 北九州の下部漸新統, 津屋崎層中の恋ノ浦火砕堆積物についての検討や対馬における水中火砕流の詳細な検討 (酒井・川原, 1998) などから, それらは対馬から五島列島の西 ~ 北西海域に推定される古第三紀火山フロント上の火山からもたらされたと結論した。また今岡ほか (1999) は漸新世の白岸凝灰岩の岩石記載・FT 年代及び Sr 同位体比の検討からそれが, 同じく古第三紀火山フロント上の火山からもたらされたものと推定している。今後, 韓半島南東部の古第三紀火成岩体を含め, 古第三紀火山フロントの西方延長上の火成活動についても検討する必要がある。

謝 辞

山口大学理学部の君波和雄教授および九州大学大学院比較

社会文化研究科の酒井治孝教授には原稿を読んでもらう、有益なコメントをいただいた。山口大学教育学部の千々和一豊助教授には石炭層についてご教授いただいた。元山口大学教授の石田志朗先生にはFT年代を報告されたジルコン試料の採取地や層準など未公表データについてご教授いただいた。産業技術総合研究所地球科学情報研究部門深成変成システム研究グループ長の松浦浩久氏には論文全体について建設的なコメントをいただいた。本研究に要した費用の一部は山陽町文化財研究基金から支出された。記して上記の方々および文化財研究基金関係者に感謝の意を表します。

文 献

- 地質調査所, 1992, 100 万分の 1 日本地質図 第 3 版。
- Danbara, T. and Iwano, H., 2001, System calibration for fission track dating of zircon using the new standard glass dosimeter IRMM-540. *Fission Track News Letter*, no. 14, 1-14.
- Galbraith, R. F., 1981, On statistical models for fission track counts. *Math. Geol.*, **13**, 471-478.
- Huzioka, K. and Takahashi, E., 1970, The Eocene flora of the Ube coalfield, Southwest Honshu, Japan. *Jour. Min. Coll. Akita Univ.*, ser. A, no. 5, 1-88.
- 飯泉 滋, 1996, 表面電離型質量分析計, MAT 262 による岩石・鉱物試料の Sr・Nd 同位体の組成の測定. 島根大地球資源環境学研報, **15**, 153-159.
- Iizumi, S. and Kagami, H., 1987, Initial Sr isotope ratio of the Hobutsusan granite, San'in Belt, SW Japan. Implications for Sr isotope variation of Cretaceous-Paleogene igneous rocks in the Inner Zone of SW Japan. *Mem. Fac. Sci. Shimane Univ.*, **21**, 145-152.
- Iizumi, S., Maehara, K., Morris, P. A. and Sawada, Y., 1994, Sr isotope data of some GSi rock reference samples. *Mem. Fac. Sci. Shimane Univ.*, **28**, 83-86.
- 今岡照喜, 1986, 山陰西部における古第三紀火成活動. 広島大地研報, no. 26, 1-109.
- 今岡照喜・大平 武・沢田順弘・板谷徹丸, 1994, 中国・四国地方における白亜紀～第三紀火成岩類の放射年代. 岡山理科大学自然科学研究所研報, no. 20, 3-57.
- Imaoka, T., Murakami, N., Matsumoto, T. and Yamasaki, H., 1988, Paleogene cauldrons in the western San-in district, Southwest Japan. *Jour. Fac. Liberal Arts, Yamaguchi Univ.*, **22**, 41-75.
- Imaoka, T. and Nakashima, K., 1983, Temporal and spatial variations of magnetic susceptibility of Cretaceous to Neogene igneous rocks from the central and western Chugoku Province, Japan. *Jour. Sci. Hiroshima Univ.*, **8**, 1-30.
- Imaoka, T., Nakashima, K. and Murakami, N., 1982, Iron-titanium oxide minerals of Cretaceous to Paleogene volcanic rocks in western Chugoku district, Southwest Japan—Special reference to manganese content of ilmenites—. *Jour. Japan. Assoc. Min. Pet. Econ. Geol.*, **77**, 235-255.
- 今岡照喜・西村祐二郎・吉原和彦・田中盛正・加々美寛雄, 1999, 古第三紀宇部層群中の白岸凝灰岩の岩石記載とその噴出源. 地質学論集, no. 53, 393-401.
- 石田志朗・松下弘樹・楢松保貴・松尾征二, 1994, 山口県宇部東部の古第三系層序と漸新世下片倉化石植物群. 日本地質学会西日本支部会報, no. 105, 19-20.
- Kagami, H., Iizumi, S., Tainosho, Y. and Owada, M., 1992, Spatial variations of Sr and Nd isotope ratios of Cretaceous-Paleogene granitoid rocks, Southwest Japan Arc. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **112**, 165-177.
- 河野通弘・田附治夫・松尾征二, 1987, 古第三系, (1) 宇部地域. 猪木幸男・村上允英・大久保雅弘編, 日本の地質 7「中国地方」. 共立出版, 106-107.
- 木村勝弘・辻 喜弘, 1990, 堆積盆の生成発展過程の研究. 石油開発技術センター年報, 平成元年度, 12-15.
- 木村勝弘・辻 喜弘, 1992, 堆積盆の生成発展過程の研究. 石油開発技術センター年報, 平成 4 年度, 90-98.
- 清原清人, 1952, 宇部炭田海底の地質構造. 地調月報, **3**, 563-567.
- 清原清人, 1956, 5 万分の 1 地質図幅説明書「宇部」および同説明書. 地質調査所, 22 p.
- 松本隆一・瀬戸弘之, 1961, 宇部炭田の地質的展望. 鉱山地質, **11**, 257-263.
- 松浦浩久, 1998, 中国山地, 三室花崗岩及び光守花崗岩の黒雲母 K-Ar 年代. 岩鉱, **93**, 182-185.
- 松浦浩久, 2001, 三津地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 58 p.
- 松浦浩久・栗本史雄・吉田史郎・斎藤文紀・牧本 博・利光誠一・巖谷敏光・駒澤正夫・広島俊男, 2002, 20 万分の 1 地質図幅「岡山及丸尾」, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 松浦浩久・妹尾 護, 2000, 山陽地方の古第三紀火成活動. 日本地質学会第 107 年学術大会講演要旨, 240.
- 宮地六美・酒井治孝, 1991, 北西部九州, 第三紀層中火砕岩類のフィッシュン・トラック年代. 地質雑, **97**, 671-674.
- 村上允英, 1973, 古第三紀田万川陥没体の形成機構に関する一考察. 地質学論集, no. 9, 93-105.
- 村上允英・今岡照喜・雁沢好博, 1989, 山陰西部における古第三紀火山性陥没体の分布と時代に関する 2, 3 の問題. 地団研専報, no. 36, 41-47.
- 西村祐二郎・今岡照喜・宇多村 護・亀谷 敦, 1995, 新編山口県地質図 15 万分の 1. 山口地学会.
- 小原浄之介, 1968, 宇部沖試錐岩芯の重鉱物—宇部炭田の重鉱物(その 1)—. 九大教養部地学研究報告, no. 15, 45-56.
- Otofuji, Y. and Matsuda, T., 1983, Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **62**, 349-359.
- 尾崎正紀, 1999, 山口県北西部に分布する日置層群と油谷湾層群の FT 年代—特に伊上層の層序学的位置づけについて—. 地球科学, **53**, 391-396.
- 尾崎正紀・濱崎聡志, 1991, 福岡県北部に分布する古第三系のフィッシュン・トラック年代. 地質雑, **97**, 251-254.
- 尾崎正紀・松浦浩久・佐藤喜男, 1996, 神戸層群の地質年代. 地質雑, **102**, 73-83.
- 酒井治孝, 1992, 北西九州, 炭田第三系中の火砕流堆積物. 松本徳夫教授記念論文集, 237-246.
- 酒井治孝, 1994, 北九州の下部漸新統, 津屋崎層中の恋ノ浦火砕堆積物. 地質雑, **100**, 692-708.
- 酒井治孝・川原和博, 1998, 九州北西沖合, 対馬の古第三紀茂木・穿岩水中火砕流堆積物. 国立科学博物館専報, no. 31, 29-47.
- Sakai, H. and Yuasa, T., 1998, K-Ar ages of the Mogi and Ugetsuiwa subaqueous pyroclastic flow deposits in the Taishu Group, Tsushima Islands. *Mem. Nat. Sci. Mus. Tokyo*, no. 31, 23-28.
- 瀬戸弘之, 1966, 宇部海底炭田における堆積機構について. 鉱山地質, 研究討論会資料, 53-61.
- 瀬戸弘之, 1972, 宇部炭田(とくに海域)における新発見. 岩井淳一教授記念論文集, 295-308.
- Shibata, K. and Ishihara, S., 1979, Initial ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios of plutonic rocks from Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **70**, 381-390.
- 鈴木倉次・三原常治, 1949, 2 万 5 千分の 1 宇部炭田地質図および説明書. 西部石炭協会, 29 p.
- Suzuki, S., 1996, Paleogene talus deposits, Okayama City, Southwest Japan. *Okayama Univ. Earth Sci. Rept.*, **3**, 17-24.
- 高橋英太郎, 1975, 宇部層群. 山口県の地質, 154-163, 山口博物館.
- 高橋英太郎・松尾 裕・日比野至・久保田恵彬・倉田芳明, 1961, 宇部炭田東部の地質. 山口大理科報告, **12**, 67-74.
- 高橋英太郎・宮本祥史・蔵田 博, 1974, 宇部炭田中央部および西部の宇部層群. 山口地学会, no. 7, 6-11.
- 高橋英太郎・渡辺富士男・田中恒夫, 1963, 宇部炭田西部の地質. 山口大理科報告, **14**, 71-76.
- 高橋英太郎・横山健治, 1960, 宇部炭田中央部の地質. 山口大理科報告, **11**, 165-169.
- 高橋 清・林 正雄, 1987, 対馬の火成岩類のフィッシュン・トラック年代 (II). 長崎大教養紀要 (自然科学篇), **27**, 19-31.
- Takai, F., 1945, Eocene mammals from the Ube and Hosan coal-field in Nippon. *Proc. Imp. Acad. Japan*, **20**, 736-740.
- 田村 実, 1955, 宇部炭田の炭層対比について. 中国炭鉱技術会

- 誌, 7, 9-15.
 谷 保孝・中川 渉, 2001, 古第三紀凝灰岩層の識別における記載
 岩石学的検討の有効性—兵庫県三田盆地に分布する異なった 2
 層準の神戸層群凝灰岩層での例—, 地球科学, 55, 157-171.
 徳永重康・飯塚 実, 1930, 宇部炭田の地質学的研究. 早大理工紀
 要, 6, 1-151.
 梅本研吾・今岡照喜・山崎 徹・大和田正明, 2000, 混合融剤 (A 12)

- を使用した岩石の蛍光 X 線分析. 山口大機器分析センター報告,
 no. 8, 16-23.
 山崎博史・鈴木盛久・管 孝明・原田弘毅・林 武広・吉村典
 久, 2002, 広島県中央部, 世羅台地で見いだされた漸新統. 日
 本地質学会第 109 年学術大会講演要旨, 226.

(要 旨)

今岡照喜・松本崇雅・松里英男・松尾征二・飯泉 滋・岩野英樹, 2003, 古第三紀宇部層群中の凝灰岩のフィッション・トラック年代と Sr 同位体比. 地質雑, 109, 106-115. (Imaoka, T., Matsumoto, T., Matsusato, H., Matsuo, S., Iizumi, S. and Iwano, H., 2003, Fission-track ages and Sr isotope ratios of tuffs in the Paleogene Ube Group, SW Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 109, 106-115)

山口県小野田市千崎において小野田インターチェンジ建設工事中に数枚の凝灰岩と碎屑岩類からなる宇部層群宇部夾炭層上部層の大露頭が出現した. 本研究ではその凝灰岩の産状, 岩石記載, 斜長石の化学組成, FT 年代, Sr 同位体比を検討し, それらの起源を探る.

凝灰岩には自形～他形の極めて新鮮な斜長石, 類質火山岩片, 少量の石英が見られる. 基質は軽石片, ガラス片からなり完全に脱ハリ・変質している. ジルコン FT 年代は 36.0 ± 2.1 , 34.6 ± 1.5 Ma である. これらの値は植物化石とサイ化石から推定されている時代と矛盾しない. 8 試料の斜長石を分離し, Sr 同位体比の測定を行った. 上記の FT 年代 36 Ma を用いて Sr 同位体比初生値を計算すると $0.7043 \sim 0.7049$ となる. この値は Kagami et al. (1992) による花崗岩の Sr 同位体比初生値の区分による北帯に対応する. 以上の事実からこの凝灰岩の給源となった火山は, 日本海岸線に沿って分布する古第三紀の火山帯に求めるのが妥当である.