

紀伊半島中新世火山岩類の時空分布と全岩化学組成

佐藤隆春¹

Temporal, spatial distribution and whole-rock chemistry for the Miocene volcanic rocks in the Kii Peninsula, Japan.

Takaharu SATO¹

Abstract: The middle Miocene felsic igneous rocks, including the Kumano Acidic Igneous Rocks, are distributed in the Kii Peninsula. Some of these were formed by large-scale caldera forming eruption. Furthermore, in the northern part of the peninsula, basalt to rhyolite rocks such as the Nijo Group can be seen. In addition, various volcanic rocks are widely distributed such as minor dikes. However, chronological and systematic framework of these igneous rocks is still unclear. Therefore, we have attempted to describe the occurrence of these volcanic rocks and the chemical composition of the whole rock, and to present them as a framework to show change over time. In the result, the three stages are recognized in the study area (Nijyosan, Nara-Kasugayama and Yoshino areas), and the Odai-Muro tephra eruption happened between the second and third stages. The first stage is characterized by dacites and rhyolites which generally contain garnet and biotite as phenocryst and poorly contain Y and Zr in whole rock chemical composition. In the second stage, basaltic-andesites and andesites are mainly found. These rocks commonly contain phenocrysts of olivine, Mg-rich pyroxene, and sometime hornblende, and are also characterized rich in contents of MgO, Ni and Cr. These characteristics are also common to the andesitic rocks of Shigisan, Dakeyama, Koya, Hidaka areas and some Yoshino area. Volcanic rocks of Stages 1st and 2nd exhibit calc-alkaline series. On the other hand, basalts and andesites of the third stage are classified as tholeiitic series due to high FeO*/MgO values and are also rich in Nb and Zr. The composite dike in the Yoshino area which contains tholeiitic basaltic rocks and intruded into the Nakaoku pyroclastic dike swarm is considered to be component of the third stage. These are probably reflected changes of the middle Miocene magmatism in the peninsula.

抄録: 紀伊半島には熊野酸性火成岩などの中期中新世の大規模な珪長質火成岩が分布する。これらの中には大規模なカルデラ形成噴火に伴うものもある。また、紀伊半島北部には二上層群など、玄武岩から流紋岩質の溶岩、岩脈、火砕岩が分布している。さらに、これらのほかにも多様な火山岩が小規模な岩脈などとして広域に点在する。これら広域に点在する火山岩類の関係性や形成時期は詳しくわかっていない。本報告ではこれらの火山岩の産状と全岩化学組成を記載し、層序区分に相当するステージ区分としてまとめることを試みた。ステージは大台-室生テフラを鍵層にして二上山、奈良春日山地域と吉野地域を合わせて3つに区分される。第1ステージはおもに、ざくろ石と黒雲母を含む流紋岩やデイサイトによって示され、それらはYやZrなどに乏しい特徴を示す。第2ステージはおもに、玄武岩質安山岩と安山岩によって示され、それらにはかんらん石、Mgに富む輝石や、ときに、普通角閃石が含まれる。また、全岩化学組成はMgOとNi、Crなどの適合元素に富む。この特徴は信貴山、嶽山、高野、日高の各地域、および、吉野地域の無斑晶質安山岩-デイサイトに共通している。第1・第2ステージの火山岩類はカルクアルカリ系の特徴を示す。一方、第3ステージの玄武岩、安山岩はFeO*/MgOの高いソレイト系列を含み、Nb、Zrなどに富む。吉野地域にみられる複合岩脈は珪長質火砕岩脈に貫入し、ソレイト系列の玄武岩質岩を含むことから、第3ステージに対比される。これらは、紀伊半島での中新世火山岩類の3つのステージ区分が時間的変化に対応しており、時間とともに岩石学的特徴に変化が認められたことを示す。

Key words: middle Miocene, Kii peninsula, whole rock chemistry, calc-alkaline rock series, tholeiite rock series.

序 文

紀伊半島では北部の奈良市三笠山^{みかさやま}や兵庫県六甲山^{ろっこうざん}から、半島南端の和歌山県潮岬^{しののみさき}まで中新世の多様な火成岩が分布している（例えば、古山，2009；図1）。これらの放射年代は分布地域、規模の大小や岩石種によらず、その多くが約1500万年前（15Ma）の数10万年間の短期間に集中している（星ほか，2002，2003；新正ほか，2003；Shinjoe et al., 2021；角井ほか，1998；和田，1999）。一方、各地域での火成活動史は地域ごとの層序関係から推定されてきた。森本ほか（1953）による、大阪・奈良府県境での二上層群の層序から推定された火成活動史はその一例である。加えて、二上層群と奈良市春日山（以降、奈良春日山）地域に産する火砕岩は同一のものとして対比されてきたこと（例えば、新正ほか，2010）や、さらに、吉野地域の貫入相を示す火砕岩（中奥火砕岩脈群：和田・岩野，2001）と対比されることから、少なくともその給源の一部は吉野地域にあると考えられるようになった（Takashima et al., 2021）。これにより、特定の火砕岩を鍵層とすることで紀伊半島の北部から中央部までの地域で共通した火成活動史を組み立てることが可能と思われる。本研究では、先行研究によって示された紀伊半島における火成岩の特徴と形成年代を整理し、より広域での共通した火成活動史としてまとめることを目的とする。

層序の情報が限られた孤立・点在する火成岩については、その岩石学的特徴をもとに層序の確立した地域や、放射年代の求められた火成岩と対比されてきた。例えば、大阪府南部の岸和田市鍋山^{なべやま}や河内長野市寺ヶ池^{てらがいけ}などに点在する安山岩は岩石学的特徴から中新世の瀬戸内火山岩類に対比されていた（Tatsumi and Ishizaka, 1981）。その後、いくつかの地点で約14 MaのK-Ar年代が求められ、この推定が確かめられている（Tatsumi et al., 2001）。本報告では孤立・点在する火成岩の岩石学・岩石化学的特徴を手がかりとして対比を試みる。なお、本報告ではおもに、六甲山から大台ヶ原山^{おおだい が ほらざん}、および、紀伊半島南西の和歌山県日高の範囲に分布する火山岩類を対象として検討する。以降、この範囲を対象地域と呼ぶ。潮岬火成複合岩体、熊野酸性火成岩類や大峯花崗岩質岩などの分布域は対象としない。また、大阪府岬町番川の火山岩は対象地域にあるが、その放射年代は中新世後期（7.53 ± 0.17Ma）（清家，2016）であるため、対象に含めない。

火山岩類の概要

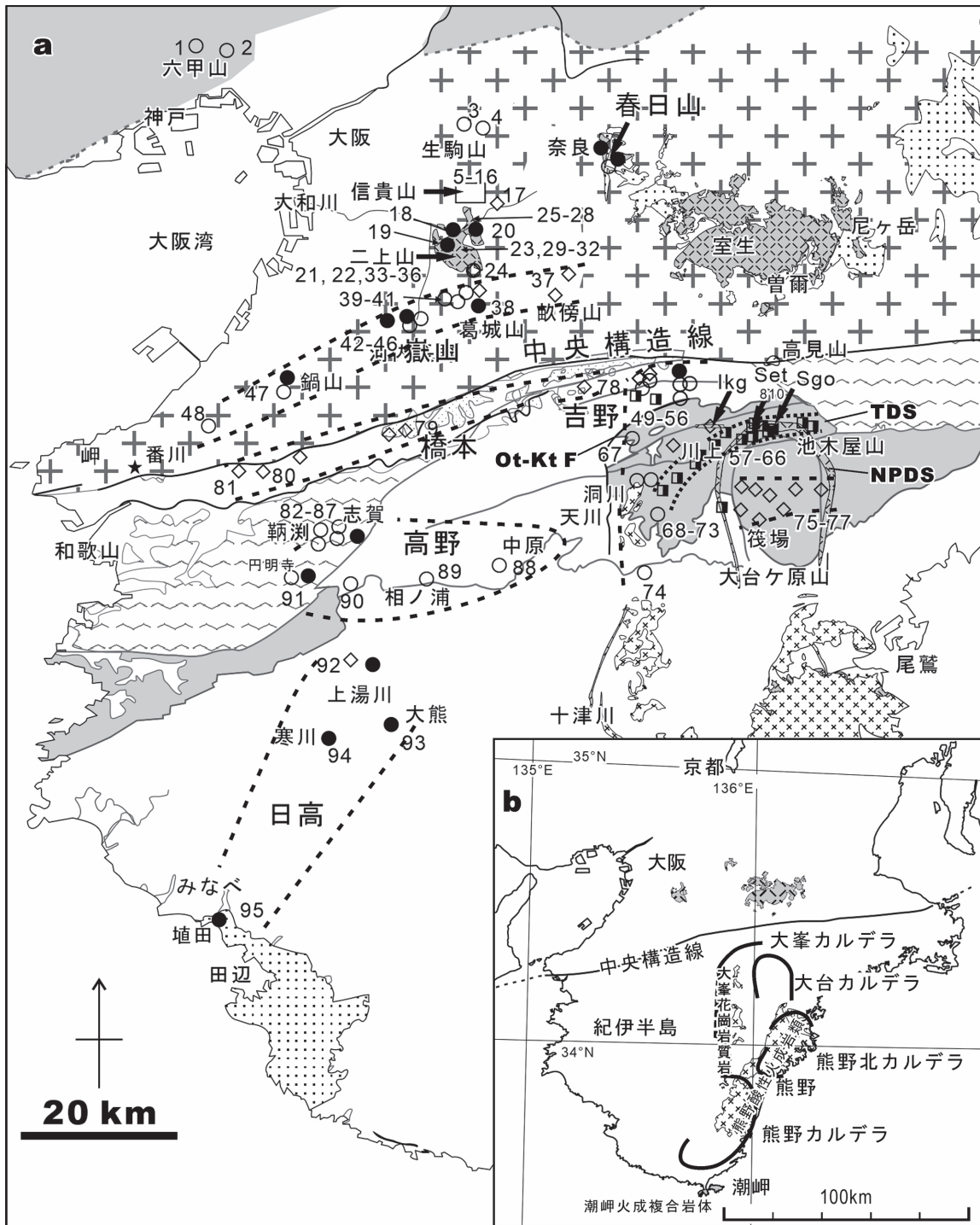
火山岩類の分布、層序、岩石学的性質について概要を述べる。

1. 分布

紀伊半島の基盤岩（先新第三系）の地帯区分と中新世に活動したと推定される火成岩類の分布を図1に示す。火成岩類は地域的にまとまりのある規模の大きいものや、点在する小規模なものがある。本報告で対象外としたものも含めて概観すると、前者には潮岬火成複合岩体（三宅，1981；Miyake，1985）、熊野酸性火成岩類（荒牧・羽田，1965；中島ほか，2010）、大峯花崗岩質岩（Kawasaki，1980；村田，1982，1984）、高見山酸性岩（和田・荒木，1997）、室生火砕流堆積物（西岡ほか，1998；志井田ほか，1960；新正ほか，2002）、二上層群（二上山地学研究会，1986；森本ほか，1953；山崎・大貫，1969）、および三笠安山岩（粉川，1954；

Fig. 1. a; Distribution of Miocene igneous rocks and geological map of basement in the Kii Peninsula. The symbols on the map indicate the locations of the samples, and the numbers attached to the symbols correspond to that of the first column from Table 1. The geological map of basement was modified from the Kishu Shimanto Research Group (2012) and the Yamato Omine Research Group (2012a, b). b: Caldera clusters in the Kii peninsula. Based on Miura (1999), Kawakami et al. (2007), Sato and Yamato-Omine Research Group (2006). Ot-Kt F: Otaki-Kitozumi Fault (Yamato-Omine Research Group, 2005), TDS: Takegi arcuate dike swarm (Sato and Yamato-Omine Research Group, 2006), NPDS: Nakaoku pyroclastic dike swarm (Wada and Iwano, 2001). The basaltic andesite simple dikes compose the Takegi Arcuate Dike Swarm is shown in the composite dikes symbol.

図1. a: 紀伊半島の中新世火成岩と基盤岩の地帯区分。火山岩産出地点をシンボルで示し、全岩組成値を求めた試料地点に表1の番号を付した。基盤岩の地質は、紀州四万十団体研究グループ（2012）、大和天峯研究グループ（2012a, b）にもとづいた。b: 紀伊半島のカルデラ群。Miura (1999), Kawakami et al. (2007), 佐藤・大和天峯研究グループ（2006）による。Ot-Kt F: 大滝-北角断層（大和天峯研究グループ，2005），TDS: 武木弧状岩脈群（佐藤・大和天峯研究グループ，2006），NPDS: 中奥火砕岩脈群（和田・岩野，2001）。武木弧状岩脈群を構成する玄武岩質安山岩単純岩脈も複合岩脈のシンボルを使用している。



中新世

● 含かんらん石玄武岩質岩 ☆ アルカリ玄武岩

○ 安山岩・無斑晶質安山岩 ◇ デイサイト・流紋岩 ■ 玄武岩質岩一流紋岩複合岩

中・古生代
古第三紀

地帯区分 領家帯 三波川帯 四万十帯 丹波帯
秩父帯

佐藤ほか, 2013) などがある。後者の点在するものは、六甲山や生駒山付近、大阪・奈良府県境の信貴山周辺(佐藤, 2009), 番川(清家, 2016), 奈良県吉野周辺(和田, 2009)や和歌山県みなべ町埴田(三宅, 1985)などで、おもに岩脈であり、一部は岩頸や溶岩である。新規に全岩化学組成を報告する地点を、おおむね東または北から順に番号で図1と表1に示す。表1には産状、産地や岩石名などを示す。貫入岩と溶岩が混在する二上山では貫入岩、溶岩の順に表1に記入した。また、近接して溶岩が重なる地域では岩体、または、地層名を記入した。

点在する小規模火山岩類は帯状、または、限られた地域に分布する傾向がみられる。信貴山、葛城山から大阪府南部の嶽山、鍋山を結ぶ地域、および、和歌山県紀の川市鞆渕付近での帯状分布に対して、佐藤(1985)はそれぞれ岩脈区を設定していたが、本報告では岩脈区用語を用いず、次の(1)~(8)の地域区分にもとづいて検討する(図1)。(1)信貴山地域(図1, 表1のNo. 1~17, 以降はNo.の数を記す)、(2)二上山地域(18~36)、(3)嶽山地域(37~48)、(4)吉野地域(49~74)、(5)筏場地域(75~77)、(6)橋本地域(79~81)、(7)高野域(82~91)、および、(8)日高地域(92~95)。なお、六甲山、甲山(図1の1, 2)の安山岩は他の地域から離れているが、岩石種は信貴山地域に類似するものがあることから、ここでは信貴山地域に含めて扱う。吉野地域では玄武岩質安山岩~流紋岩の単純岩脈のほか、玄武岩質岩と流紋岩からなる複合岩脈(composite dike; 以降、複合岩脈)が分布する(新正ほか, 2003; 高島ほか, 2010; 和田ほか, 2000, 2007, 2011)。吉野地域の複合岩脈は玄武岩質岩と流紋岩が同時期に貫入しており(例えば、和田ほか, 2011)、時期を隔てて貫入した重複岩脈(multiple dike; 例えば、久野, 1954)とは区別されるものである。複合岩脈は吉野地域の北部(表1の国栖: 54, 榎尾: 55, 宮滝: 56, 以降、表1を略する)と南縁(宮ノ谷: 57, 千石岳西: 59, 薊岳南: 60, 井戸: 65)に貫入している。南縁の複合岩脈は玄武岩質安山岩の単純岩脈(奥ノ平谷: 58, 瀬戸810: 61, 井光: 63, 武木: 64, 下多古: 66, 毛又谷: 70)とともに武木弧状岩脈群(図1aの太破線, TDS; 佐藤・大和大峯研究グループ, 2006)を構成する。なお、佐藤・大和大峯研究グループ(2006)は武木弧状岩脈群の北西縁を大滝-北角断層(図1aのOt-Kt F)とし、稲村ヶ岳の角閃石安山岩(72, 73)なども本岩脈群に含めた。本報告では武木弧状岩脈群を複合岩脈とその玄武岩質岩に類似する暗灰色の玄武岩質安山岩単純岩脈によって構成されるものと再定義する。よって、岩石種・岩相の異なる井光川(62), 榎尾(67), 大天井ヶ岳(68, 69), 千本谷(71), および、稲村ヶ岳(72, 73)の火山岩は武木弧状岩脈群に含めない。これらの火山岩を除くと、武木弧状岩脈群の北縁は、南縁と並行する幅約2 kmの位置に推定される。表1では武木弧状岩脈群を構成する玄武岩質安山岩単純岩脈をBA(TDS), 複合岩脈を構成する玄武岩質安山岩と流紋岩を、それぞれcomp-BAとcomp-Rと略記した。

また、吉野地域には弧状と半円状の珪長質火砕岩脈(以降、火砕岩脈)が分布する。大台ヶ原山北部で半円状に分布する中奥火砕岩脈群(図1aのNPDS; 和田・岩野, 2001)は大台カルデラの噴出火道と推定されている(佐藤・大和大峯研究グループ, 2006)。

Table 1. Summary of samples for whole-rock chemical analysis: locations, occurrence, rock types, and petrographic insights. The sampling points are numbered, and the numbers are rowed from northeast to southwest of study area. The same number indicates that they were collected from the same rock body. Some sample names with * in the second column (Label) of the table are after from Yokoo (1994). The rows No. 19-36 are filled in body names according to the reports: (1) Fujita (1967), (2) Morimoto et al (1953), and (3) Sato and Kayahara (1993). B: basalt, BA: basaltic andesite, A: andesite, D: dacite, R: rhyolite, aph: aphyric, comp-: composite dike, Breccia: breccia in tuff breccia. Ol: Olivine; Cpx: Clinopyroxene; Opx: Orthopyroxene; Hbl: Hornblende; Bt: Biotite. The prior research column is (a) Kasama (1959), (b) Morimoto et al. (1957), (c) Tatsumi and Ishizaka (1982), (d) Shinjoe et al. (2007), (e) Yamazaki and Onuki (1969), (f) Shimoda et al. (1998), (g) Sato and Kayahara (1993), (h) Shinjoe et al. (2003), (i) Wada et al. (2007), (j) Takashima et al. (2010), (k) Miyake (1985) and (l) Sato et al. (2013).

表1. 全岩化学分析試料の一覧。各試料採取地点には、調査地域の北東側から南西側に向かって番号を付した。同一の番号内に複数の試料が含まれるものは、同一の岩体から採取したもの。Label列の*は、横尾(1994)により全岩分析がおこなわれた試料。産状の列は、Dike: 岩脈、Neck: 岩頸、Lava: 溶岩、Welded tuff: 溶結凝灰岩、Breccia: 凝灰角礫岩の角礫。二上山地域の緯度・経度列の岩体名は、(1)藤田(1967); (2)森本ほか(1953); (3)佐藤・茅原(1993)から引用。岩石名の列は、B: 玄武岩、BA: 玄武岩質安山岩、A: 安山岩、D: デイサイト、R: 流紋岩、aph: 無斑晶質、comp-: 複合岩脈。斑晶の列は、Ol: かんらん石、Cpx: 単斜輝石、Opx: 直方輝石、Hbl: 普通角閃石、Bt: 黒雲母。先行研究の列は、(a)笠間(1959)、(b)Morimoto et al. (1957)、(c)Tatsumi and Ishizaka(1982)、(d)新正ほか(2007)、(e)山崎・大貫(1969)、(f)Shimoda et al.(1998)、(g)佐藤・茅原(1993)、(h)新正ほか(2003)、(i)和田ほか(2007)、(j)高嶋ほか(2010)、(k)三宅(1985)、(l)佐藤ほか(2013)。

Table 1. (continued)

表1 (続き)

No	Label	産状	地域	産地	1/2.5万 地形図	緯度 °N	経度 °E	標高 m	岩石名	斑晶 Ol	○普通, △少ない	分析値公表 先行研究			
										Cpx	OpX	Hbl	Bl		
33	Mdk*	Lava		雌岳	大和 高田				雌岳火山岩 ⁽²⁾	R			○		
34	Hat*	Lava	二上山	畑					畑火山岩 ⁽²⁾	A		○ △	○ △		
35	Anm*	Lava		穴虫峠南 (石切場)					石切場火山岩 ⁽²⁾	A				○ (b), (e)	
36	Rkt*	Welded tuff		鹿谷寺					下部ドンズルボー層 ⁽²⁾	Welded tuff				○	
37	Unb	Neck		畝傍山	畝傍山	34.493	135.784	170	R					△ (d)	
38	Iwh	Dike		岩橋山		34.483	135.684	660	BA	○ ○					
39	Hir	Dike		平石	御所	34.493	135.662	210	A	○ ○ ○					
40	Srk N	Dike		白木北		34.494	135.632	60	A	○ ○ ○					
41	Srk S	Dike		白木南		34.485	135.643	(100)	A	○ ○ ○					
42	Dak-m	Lava	嶽山	嶽山m		34.465	135.593	220	aph A		○ ○				
	Dak-c	Lava		嶽山c							○				
43	Kan	Dike		南加納	富田林	34.485	135.648	130	A	○ ○					
44	Kin 1	Dike		金胎寺		34.452	135.584	190	aph A		○ ○				
45	Kin 2	Dike		金胎寺		34.452	135.584	200	A	○ ○					
46	Smy	Lava		汐ノ宮		34.466	135.582	80	A	○ ○ ○ ○				(b), (c)	
47	Mzm	Dike		水間	内畑	34.376	135.403	180	aph A		○ ○				
48	Azt	Dike		畔谷	樽井	34.345	135.308	130	aph A		△				
	Kon	Dike								△ △					
49	Kon	Dike		小名		34.414	135.963	430	BA	△ △					
	Kon	Dike								△ △			△		
50	Nkg	Dike		中黒		34.398	135.952	320	A		△ △				
51	Ogr	Dike		小栗栖		34.396	135.959	220	A		△				
52	Tub	Dike		津風呂湖		34.394	135.900	240	R						
53	Ntm	Dike		菜摘		34.388	135.903	170	R				△		
54	Kuz-m	Dike		国栖	新子	34.374	135.926	200	comp-B	○ △					
	Kuz-c	Dike							comp-R			△ △			
	Kso-m	Dike							comp-B	△ △					
	Kso-c	Dike							comp-R						
55	Kso-3m	Dike		櫻尾		34.375	135.915	180	comp-B					(h)	
	Kso-3	Dike							comp-B						
	Kso-3c	Dike							comp-R						
56	Mtk	Dike	吉野	宮滝		34.377	135.899	170	comp-R	○				(i)	
	Mtn-m	Dike								comp-BA	○				
57	Mtn	Dike			宮ノ谷	七日市	34.342	136.146	420	comp-BA	○				(j)
	Mtn	Dike								comp-A	○				
	Mtn-c	Dike							comp-R				○		
58	Okn	Dike		奥ノ平谷		34.344	136.134	480	BA(TDS)	○					
59	Sgo-m	Dike		千石岳西		34.345	136.084	900	comp-BA	○					
	Sgo-c	Dike							comp-R				○		
60	Azm	Dike		薊岳南	大豆生	34.348	136.065	1240	comp-BA	○					
61	Set 810	Dike		瀬戸810		34.338	136.061	810	BA(TDS)	○					
62	lkg	Dike		井光川		34.344	136.011	810	aph D						
63	lkr	Dike		井光	大和柏木	34.327	136.008	550	BA(TDS)	○ ○					
64	Tkg	Dike		武木		34.315	135.990	320	BA(TDS)	○ ○					
65	Ido-c	Dike		井戸	洞川	34.308	135.981	400	comp-BA	○					
	Ido-m	Dike								comp-BA	○				
66	Stk	Dike		下多古		34.297	135.958	730	BA(TDS)	○					
67	Mko	Dike		槇尾		34.330	135.891	690	A	○					

Table 1. (continued)

表1 (続き)

No	Label	産状	地域	産地	1/2.5万 地形図	緯度 °N	経度 °E	標高 m	岩石名	斑晶 Ol	○普通, △少ない	分析値公表 先行研究	
68	Otn-1	Dike	吉野	大天井ヶ岳	洞川	34.287	135.917	1170	A	△			
69	Otn-2	Dike								A	△		
70	Gmd	Dike		毛又谷			34.276	135.935	1280	BA(TDS)	○		
71	Sbd	Dike		千本谷		34.284	135.898	930	aph A				
72	Ina 1	Dike		稲村ヶ岳	弥山	34.240	135.923	1630	A			△	
73	Ina 2	Dike					34.238	135.924	1640	A			△
74	Hak	Dike		八経ヶ岳		34.175	135.909	1850	BA			△	
75	San	Dike	筏場	三ノ公	大和柏木	34.261	136.098	490	R			○	
76	lkd	Dike		筏場	大台ヶ原山	34.236	136.072	480	R			○	
77	Yud	Dike		湯谷		34.249	136.109	520	R			○	
78	His	Dike	橋本	比叢	吉野山	34.393	135.834	160	R			○	
79	Taw	Dike		田原	橋本	34.333	135.5666	220	R			△ △	
80	Sak	Dike		桜池	粉河	34.287	135.379	120	R				
81	Kas	Dike		春日池	岩出	34.286	135.345	100	R				
82	Sga	Dike		志賀	高野山	34.212	135.507	490	BA	△			
83	Trb	Dike		鳥淵		34.224	135.481	320	A	△	△		
84	Itk	Dike	岩滝		34.222	135.464	350	A		△			
85	Ntb	Dike	中鞆	龍門山	34.225	135.473	310	A	○	△			
86	Kit-1	Dike	高野	北原1		34.225	135.467	340	A		△		
87	Kit-2	Dike		北原2					A		△		
88	Nak-m	Dike		中原m	猿谷 貯水池	34.187	135.705	640	aph A				
	Nak-c	Dike		中原c					aph A				
89	Ain-m	Dike		相ノ浦m	梁瀬	34.167	135.609	690	aph A				
	Ain-c	Dike		相ノ浦c					aph A		△		
90	Yns	Dike	梁瀬		34.161	135.502	610	aph A	△				
91	Enm-m	Dike	円明寺m	田	34.168	135.414	160	A		△ △			
	Enm-c	Dike	円明寺c					A		△			
92	Toi	Dike	朽砥山	紀伊清水	34.071	135.486	690	aph D	△				
93	Okm	Dike	日高	大熊	龍神	33.994	135.562	460	A	△		(k)	
94	Tui	Dike		朝日	寒川	33.977	135.479	460	A	△ △			
95	Hnt	Dike		埴田	南部	33.761	135.329	20	A	△		(k)	

2. 層序

対象地域で火山岩類の層序関係が判明している奈良春日山、信貴山、二上山、および吉野の各地域での地質層序の概略を述べる。とくに鍵層として、各地域に見られる火砕岩(石仏凝灰岩層、玉手山凝灰岩層、室生火砕流堆積物)および吉野地域の中奥火砕岩岩脈群の層序学的位置に注目する。石仏凝灰岩層、玉手山凝灰岩層、および室生火砕流堆積物は同一の火砕岩として対比されている(岩野ほか, 2007; 新正ほか, 2010; 山下ほか, 2007; 横田ほか, 1978)。また、石仏・玉手山・室生の火砕岩は新潟(工藤ほか, 2011)や房総半島(檀原ほか, 2007)にも到達した広域テフラと推定されている(檀原ほか, 2007)。この広域テフラの給源については、室生火砕流堆積物の基底相に含まれる異質岩片(放射虫チャートなど)が母岩の秩父帯に由来すること(室生団体研究グループ・八尾, 2008)、中奥火砕岩岩脈と室生火砕流堆積物基底相に含まれる鉱物(アバタイト)の組成が類似すること(Takashima et al., 2021)から、大台カルデラが給源の1つと推定されている。広域テフラは給源火山名と模式的分布地を併記して命名することが提唱されている(町田・新井, 1992)。そこで、本テフラは大台カルデラと模式的分布地である室生の地名を使用して、大台 - 室生テフラ(Od-Mr Tephra)と仮称する。ただし、本テフラは全岩化学組成(新正ほか, 2002, 2007)、鉱物組成(山下ほか, 2007)、FT年代(岩野ほか,

2007)などの特徴は熊野カルデラ (Miura, 1999) を含む複数のカルデラ群 (図1b) を構成する火成岩と共通している。カルデラ群のなかで個々のカルデラから噴出したテフラの識別と大台-室生テフラの細分は今後の課題である。

奈良春日山地域では地獄谷累層を春日山累層が覆う。石仏凝灰岩層は地獄谷累層最上部を構成する。春日山累層は下位から、ソノハ礫岩部層、水谷川凝灰岩部層、三笠安山岩が重なり、三笠安山岩は高円山玄武岩に貫入される (図2; 佐藤ほか, 2013)。

信貴山地域では東西約4 km, 南北約2 kmに20数枚の岩脈と岩頸が分布する (佐藤, 1985)。岩石種は含かんらん石玄武岩質安山岩 (佐藤, 1985のかんらん石玄武岩)、無斑晶質安山岩、含角閃石輝石安山岩、および、ざくろ石黒雲母流紋岩である (図3a)。岩脈には縁部が無斑晶質安山岩、中心部で含ざくろ石黒雲母流紋岩に漸移するものがある (図3aのNと表1のShg Nおよび9.以降, 図3aと表1を省略する)。岩石種の異なる岩脈の貫入関係は信貴山山頂部で確認できる。山頂の空鉢護法堂から約60 m東方地点でざくろ石黒雲母流紋岩 (R, Shg R, 10) が玄武岩質安山岩 (S, Shg S, 11) と無斑晶質安山岩 (T, Shg T, 12) に貫入されている (図3a, b)。

二上山地域での二上層群は下位からドンズルポー累層、原川累層、および、定ヶ城累層で構成される。さらに、ドンズルポー累層は4部層に区分されており (宮地ほか, 1998; 森本ほか, 1953), 火山岩の岩石種は、累層および部層の違いに対応して異なっている (図2, 4)。ドンズルポー累層は、含ざくろ石流紋岩~安山岩、原川累層はかんらん石玄武岩質安山岩や無斑晶質安山岩、定ヶ城累層は角閃石輝石黒雲母デイサイトの活動で特徴づけられる (森本ほか, 1953)。また、玉手山凝灰岩層は森本ほか (1953) では原川累層上部に、二上山地学研究会 (1986) と宮地ほか (1998) では定ヶ城累層に挟まれるとしている。本報告では後者の層準とする (図2)。貫入岩は烏岳で含かんらん石玄武岩質安山岩が、畑の南西で含ざくろ石黒雲母安山岩がいずれも畑火山岩に、雄岳では無斑晶質安山岩が雌岳火山岩に貫入する。雌岳の南東で含ざくろ石黒雲母安山岩、南で流紋岩がいずれも下部ドンズルポー層に貫入する。竹内峠では流紋岩が基盤の花崗岩質岩に貫入する (図4)。これらの貫入関係の多くは層序に対応した岩石種の変化を支持するものである (図2)。ただし、竹内峠の流紋岩 (24) は孤立岩体であり、層序関係を確認できない。二上山地学研究会 (1986) は流紋岩であることから、上部ドンズルポー層

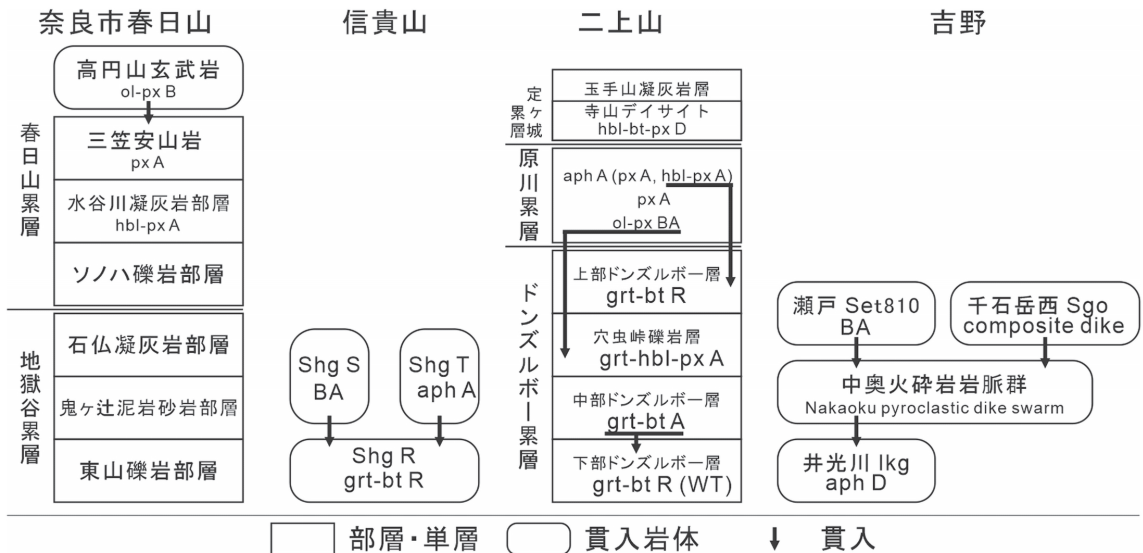


Fig. 2. Stratigraphic section of volcanic rocks in Nara-Kasugayama, Shigisan, Nijyosan and Yoshino area. The stratigraphy is based on the Morimoto et al. (1953), Nijyosan Research Group (1986), Sato (1985) and Sato et al. (2013). B: basalt, BA: basaltic andesite, A: andesite, D: dacite, R: rhyolite, WT: welded tuff. ol: olivine, px: pyroxene, hbl: hornblende, bt: biotite, grt: garnet.

図2. 奈良春日山・信貴山・二上山・吉野地域における火山岩類の層序関係。層序は次の文献にもとづく。奈良市春日山: 佐藤ほか (2013), 信貴山: 佐藤 (1985), 二上山: 森本ほか (1953); 二上山地学研究会 (1986)。B: 玄武岩, BA: 玄武岩質安山岩, A: 安山岩, D: デイサイト, R: 流紋岩, WT: 溶結凝灰岩。ol: かんらん石, px: 輝石, hbl: 普通角閃石, bt: 黒雲母, grt: ざくろ石。

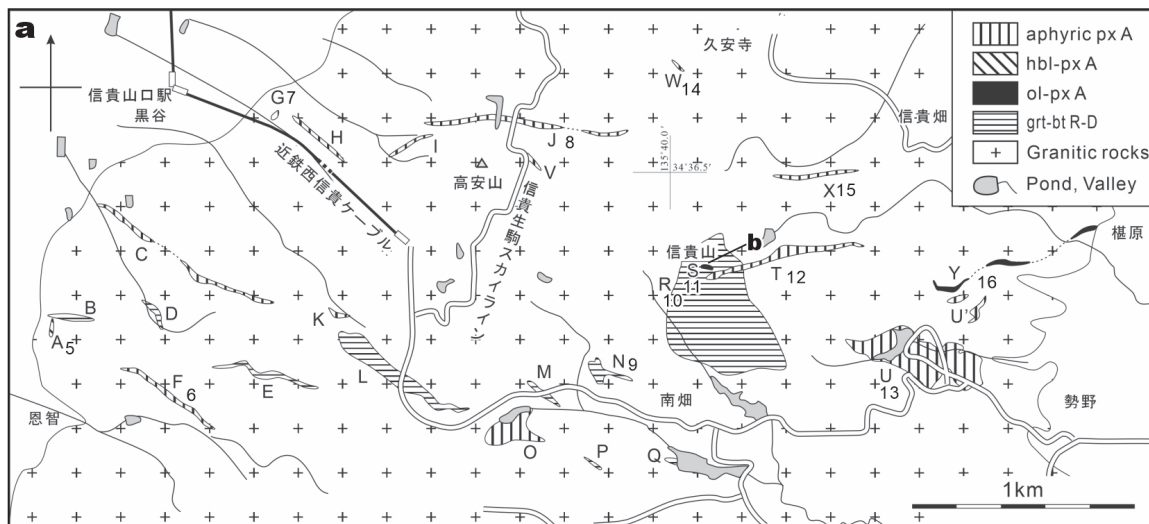


Fig. 3. Volcanic dike rocks in the Shigisan area. a: Geological map, modified from Sato (1985). Dikes A-Y are referred to as Shg A to Shg Y in Table 1. The numbers are also the same as in Table 1. ol: olivine, px: pyroxene, hbl: hornblende, grt: garnet bt: biotite, A: andesite, R: rhyolite. b: An outcrop shows that ol-px andesite (S) intruded into grt-bt rhyolite (R) at 60 m east of the summit of Shigisan. Dashed lines indicate intrude surface of the andesite.

図3. 信貴山付近の火山岩岩脈. a: 地質図(佐藤, 1985に加筆した). A-Yは表1のLabel列のShg A~Shg YからShgを略して示す. Labelに添えた数字は表1のNo.に対応する. ol: かんらん石 px: 輝石, hbl: 普通角閃石, grt: ざくろ石, bt: 黒雲母, A: 安山岩, R: 流紋岩. b: ざくろ石黒雲母流紋岩(R)に貫入したかんらん石輝石安山岩(S). 破線は安山岩の貫入面を示す. 写真は信貴山山頂(空鉢護法堂)から約60m東の地点で, 図3a中にbで示した.

に対比した. しかし, 本流紋岩はざくろ石, 黒雲母を含まず, 直方輝石の微斑晶を含むことから, ここでは原川累層に対比する.

吉野地域では中奥火砕岩岩脈群(NPDS), 弧状の火砕岩脈, 武木弧状岩脈群(TDS), および, 玄武岩質安山岩~流紋岩の単純岩脈が分布する(図1). これらの中で, 貫入関係が確認されたものを述べる.

千石岳西(図1, 表1のSgo, 59)で火砕岩脈(中奥火砕岩岩脈群)は複合岩脈(武木弧状岩脈群)に切られている(図5). 本地点での火砕岩脈はほぼ東西走向で秩父帯の砂岩やチャートに貫入し, 岩脈の縁部から内側に異質岩片の含有量が増える. 火砕岩脈は複合岩脈に走向N50°E, 幅30~50mで貫入される.

瀬戸810(Set 810, 61)地点で火砕岩脈(中奥火砕岩岩脈群)は玄武岩質安山岩単純岩脈(武木弧状岩脈群)に貫入される. 本地点の火砕岩脈は異質岩片を含む灰色火山礫凝灰岩で幅約5m, ほぼ東西走向で秩父帯の砂岩, 泥岩に貫入する(図6a). 玄武岩質安山岩は緻密な暗灰色の岩相を示し, 貫入面の走向, 傾斜がN70°E, 40°S, 幅20cmで泥岩に貫入する(図6b). この延長部で玄武岩質安山岩が火砕岩に貫入する関係がみられる(図6c).

井光川(Ikg, 62)では灰白色の無斑晶質デイサイトが火砕岩脈に捕獲または貫入される. 火砕岩はほぼ東西走向(N75°E, 45°S)で泥質岩に貫入する. 泥質岩の片状構造も東西方向である(E-W, 30-40°S). 火砕岩には火山礫サイズの異質岩片(おもに, 暗灰色チャート), 石英片などが含まれる. 井光川に流入する小沢の南側河床では, 幅約3mの無斑晶質デイサイトが火砕岩に挟まれている様子が観察できる(図7a). 両者は高さ10cm以下の凹凸面で境されている. 小沢の北側河床でも凹凸面で接する部分(図7b)と, 無斑晶質デイサイトが幅約5cmの火砕岩脈に貫入される関係がみられる(図7c).

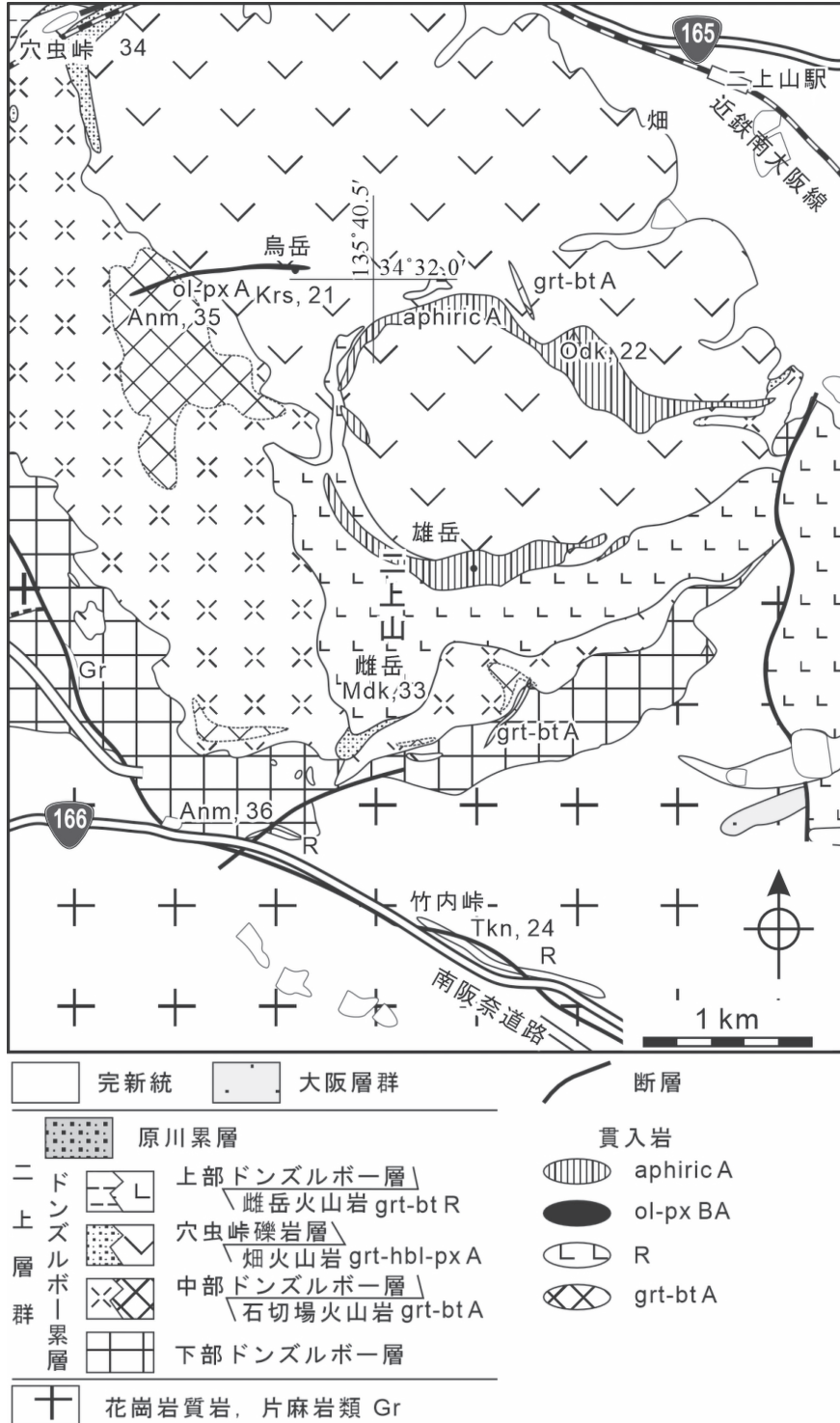
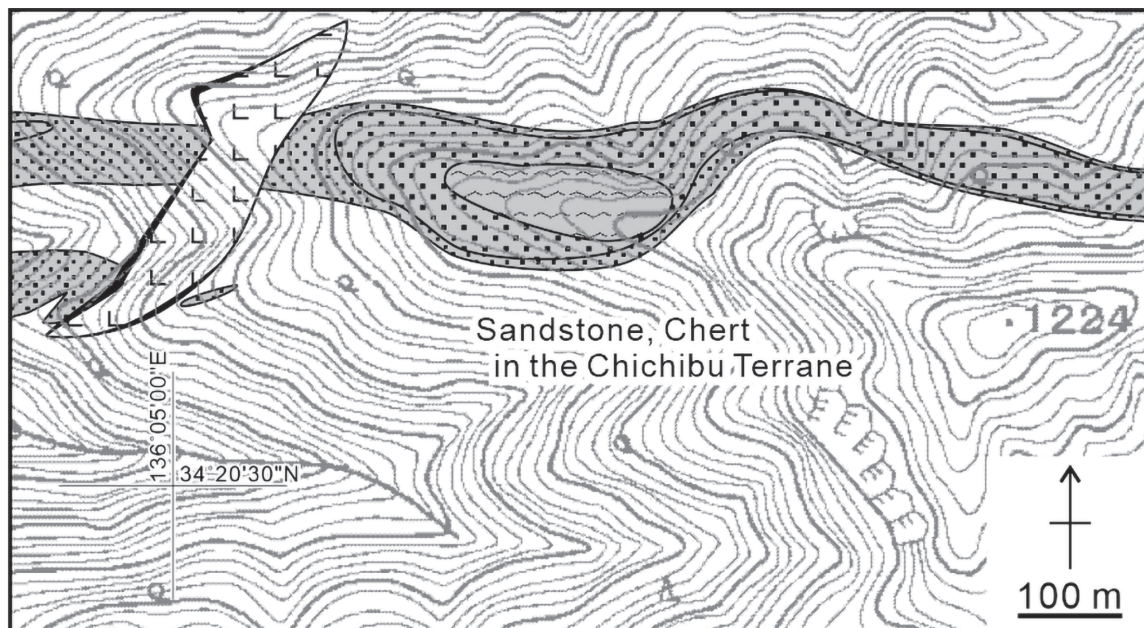


Fig. 4. Geological map on the Nijosan area, modified from Nijosan Research Group (1986). Numbers and labels correspond to Table 1. A: Andesite, R: Rhyolite, ol: olivine, px: pyroxene, hbl: hornblende, bt: biotite, grt: garnet.

図4. 二上山付近の地質図. 二上山地学研究会(1986)に加筆した. 図中の数字とラベル名は, それぞれ表1のNo. とLabel列に対応する. A: 安山岩, R: 流紋岩, ol: かんらん石, px: 輝石, hbl: 普通角閃石, bt: 黒雲母, grt: ざくろ石.



Composite dike



Basaltic andesite



Rhyolite

Pyroclastic dike



Crystal glassy tuff



Lapilli tuff



Tuff breccia

Fig. 5. Intrusive relationship between pyroclastic dike and composite dike at the locality west Sengokudake (No. 59 in Table 1). The topographic map is from a GSI map (Denshi Kokudo Web Zoom 16).

図5. 千石岳西地点(表1のNo. 59)における火砕岩脈と複合岩脈との貫入関係。地形図は地理院地図(電子国土Webズーム16)を使用した。

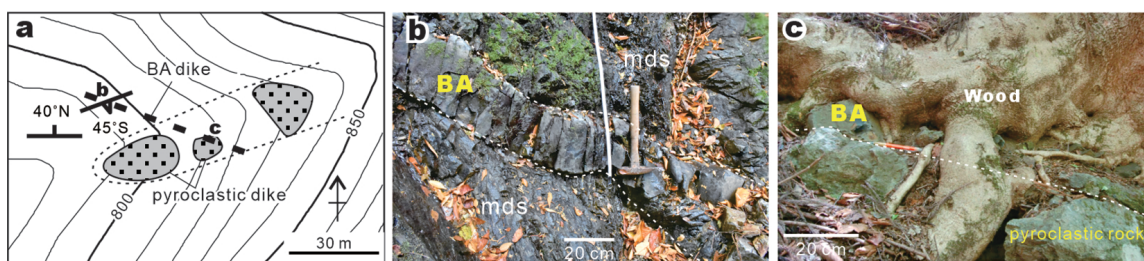


Fig. 6. Occurrence of pyroclastic dike and basaltic andesite simple dike at Set 810 (No. 61 in Table 1). a: Route map. b: Mudstone intruded by basaltic andesite dike at point b. c: Pyroclastic rock intruded by basaltic andesite dike at point c. BA: Basaltic andesite dike, mds: mudstone.

図6. 瀬戸810地点(表1のNo. 61)での火砕岩脈と玄武岩質安山岩単純岩脈の貫入関係。a: ルートマップ。b: 地点bで泥岩は玄武岩質安山岩に貫入される。c: 地点cで火砕岩は玄武岩質安山岩に貫入される。BA: 玄武岩質安山岩岩脈, mds: 泥岩。

これらの観察結果から、千石岳西、瀬戸810の2地点は武木弧状岩脈群が中奥火砕岩岩脈に貫入する関係を示し、井光川地点の無斑晶質デイサイトは火砕岩脈に捕獲または貫入される関係を示すと考えられる。

3. 岩石学的性質

瀬戸内海や中央構造線に沿う地域には、ざくろ石を含む流紋岩やデイサイトおよびサヌキトイドなどの特異な火山岩が分布している (Koto, 1916)。それらの分布域と岩石学的特徴から、これらは瀬戸内火山岩類と呼ばれている。サヌキトイドはサヌカイトの岩相に類似した、斑晶に乏しい火山岩に対する用語であるが、本報告ではサヌキトイドの用語を使わず、無斑晶質安山岩-デイサイトの岩石名を用いる。なお、表1の岩石名は肉眼と顕微鏡観察による判定である。また、瀬戸内火山岩類にはMgOに富む高マグネシア安山岩が含まれている。安山岩のMgO量の平均値は4.36 wt.%であるが (Carmichael et al., 1974)、高マグネシア安山岩では玄武岩の平均MgO量より高い6.6wt.%以上 (白木 (1989) では、 $\text{SiO}_2 = 53\text{wt.}\%$ 以上)、あるいは8wt.%以上 (佐藤 (1981) では、 $\text{SiO}_2 = 55\sim 60\text{wt.}\%$) 含まれるとされる。このようなマグマはマントルかんらん岩と平衡共存していた未分化マグマに近いものと推定されることから、FeO全量とMgO量の比 (以降、 FeO^*/MgO) が1以下の低い値、あるいは、 $\text{Mg}\# (= 100 \times \text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe}) \text{モル数})$ が64以上の高い値を示すとしている (Tatsumi, 1981; 巽, 1981, 2003)。本報告では、 $\text{SiO}_2 = 53\sim 63 \text{ wt.}\%$ の安山岩組成で $\text{FeO}^*/\text{MgO} \leq 1$ のものを高マグネシア安山岩として扱う。

新正ほか (2007) は瀬戸内火山岩類の流紋岩がイットリウムYやイッテリビウムYbなどの重希土類元素に乏しい特徴を示すが、吉野地域の流紋岩 (複合岩脈) や大峯花崗岩質岩、熊野酸性火成岩類などにはその特徴がみられないことを明らかにした。新正ほか (2007) によると、両者の違いは、瀬戸内火山岩類の流紋岩マグ

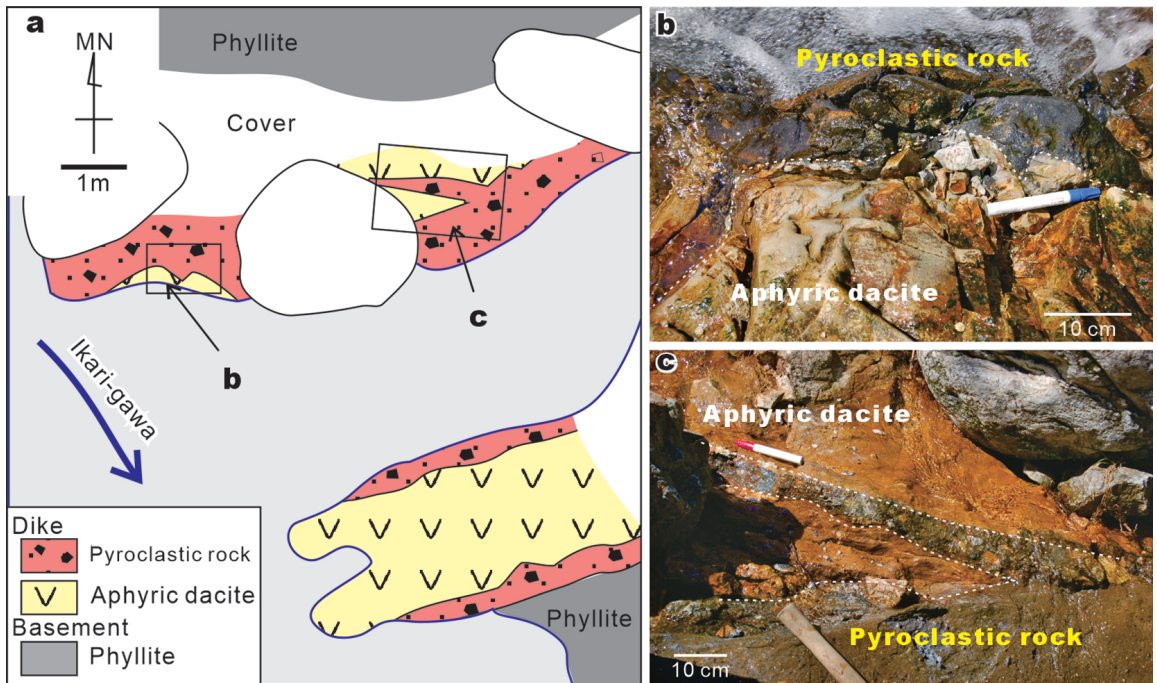


Fig. 7. Occurrence of aphyric dacite and pyroclastic rock at Ikari-gawa (No. 62 in Table 1). a: Sketch of river side of Ikari-gawa with outcrops. b: Aphyric dacite contacts pyroclastic rock with curvature surface. c: Aphyric dacite intruded by pyroclastic rock. The rectangle in a positions of photographs b and c. The dashed lines in Figs. b and c indicate the boundary between the dacite and pyroclastic rock.

図7. 井光川地点 (表1のNo. 62) での無斑晶質デイサイトと火砕岩の産状。a: 井光川の河床露頭のスケッチ。b, cは写真撮影位置を示す。b: 無斑晶質デイサイトは曲面で火砕岩と接する。c: 無斑晶質デイサイトは火砕岩に貫入される。図b, c中の破線は無斑晶質デイサイトと火砕岩の境界を示す。

マが、融解残渣として重希土類元素を多く含むざくろ石を含んでいたことが原因と推定されている。

火成岩は化学組成にもとづいて、アルカリ系列とソレアイト系列、カルクアルカリ系列の3種類に分類される。アルカリ系列は後の2つの系列と比べてアルカリに富む。ここではSiO₂とアルカリ量(Na₂O + K₂O)の関係図(TAS: total alkali silica)でのMiyashiro (1978)の区分に従う(図8, 9)。ソレアイト系列とカルクアルカリ系列は結晶分化作用とともに鉄の濃集の程度が異なり、SiO₂-FeO*/MgO図で区分される(Miyashiro, 1974)。潮岬火成複合体の苦鉄質岩はソレアイト系列(三宅, 1981; Miyake, 1985)、瀬戸内火山岩類はカルクアルカリ系列である(Morimoto et al., 1957)。番川の岩石はアルカリ玄武岩で(清家, 2016: SiO₂ = 49.1-49.8 wt.%, total alkali = 4.8-5.2 wt.%)、紀伊半島での中新世火成岩では唯一のアルカリ岩の産出報告である。

全岩化学組成

1. 方法

全岩化学組成の測定は大阪市立大学(現・大阪公立大学)、東北大学および新潟大学の各理学部設置の蛍光X線分析装置を使用した。ガラスビード作成前に強熱減量を求めたものはLOI (Loss on ignition)として表2に示した。FeO量は過マンガン酸カリウム溶液滴定法、H₂O(+/-)量は重量法で測定した。

2. 結果

全岩化学組成の測定結果を表2(主成分)、表3(微量成分)に示す。SiO₂とほかの主成分の関係図(ハーカー図)を中央構造線より北側のサンプルを図8に、南側のサンプルを図9にそれぞれまとめて示す。図8, 9ではFeOをFe₂O₃に換算してFe₂O₃に加算した。また、主分量は図8, 9とも主成分合計を無水で100%に換算した値で示し、本文でもこの値を使用する。微量元素(Ni, Cr, Nb, Zr, Y, Sr)のハーカー図は図10に示す。図8~10には対象地域で分析値の公表された先行研究(表1)、および、奈良春日山地域(佐藤ほか, 2013)のデータもプロットした。いずれの図も地域ごとにシンボルを変え、かんらん石斑晶を含む火山岩のシンボルは、シンボル内を塗りつぶした。二上山地域は層序にもとづき、ドンズルポー累層と原川・定ヶ城累層の火山岩類のシンボルを分けた。武木弧状岩脈群を構成する玄武岩質安山岩のシンボルは複合岩脈に同じものとした。先行研究データによるシンボルは灰色で示した。

対象地域での火山岩類の大半は非アルカリ岩に区分される(図8, 9のTAS図)。ただし、吉野地域にはアルカリ岩領域にプロットされるものがある(図9の69(大天井ヶ岳)とD22(和田ほか, 2000))。また、和田(1999)のD20(樫尾の55に相当)からは砂時計構造を示す単斜輝石が報告されている。砂時計構造はアルカリ岩に含まれるチタン普通輝石によく認められる構造である(例えば、千葉, 1965)。これらの岩石の組成については、今後、個別に検証する必要があると考えられるが、本報告は各地域の岩石組成の傾向を把握することに主眼をおき、ここではそれらの記述にとどめる。

Table 2. Whole-rock major element chemistry. Some sample names with * in the second column (Label) of the table are after from Yokoo (1994).

表2. 全岩主成分化学組成. Label列の試料名に*が付記されているものは, 横尾(1994)から引用した.

No	Label	SiO ₂ ^{wt%}	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O(+)	H ₂ O(-)	Total	LOI	FeO ^{total} /MgO
1	Rok	65.19	0.28	16.39	3.35	0.04	2.73	3.51	3.69	2.45	0.10				97.73		1.10
2	Kbt	61.88	0.39	16.26	4.74	0.12	4.48	4.91	3.38	2.08	0.13				98.37		0.95
3	Isk	57.29	0.63	15.50	1.67	5.90	0.13	4.29	7.99	2.55	1.60	0.12	2.24	0.47	100.38		1.73
4	Hoz	60.76	0.44	15.41	2.63	2.69	0.08	5.21	5.43	3.28	2.01	0.09	0.16	1.01	99.20		0.97
5	Shg A	56.20	0.88	14.62	8.35	0.18	6.68	6.75	2.41	1.53	0.12				97.72		1.12
6	Shg F	52.40	1.05	14.90	0.64	9.70	0.23	4.15	6.51	2.33	1.20	0.17	5.09	1.84	100.21		2.48
7	Shg G	61.62	0.39	15.81	1.57	4.07	0.10	4.15	5.58	2.86	1.96	0.10	1.90	0.43	100.54		1.32
8	Shg J	59.26	0.43	14.94	1.18	3.55	0.10	4.04	5.06	2.28	2.47	0.09	2.65	2.44	98.49		1.14
9	Shg N-m	65.80	0.36	17.07	0.72	2.11	0.06	0.87	3.22	2.98	3.45	0.11	2.33	0.68	99.76		3.17
	Shg N-c	68.52	0.29	16.25	1.93	0.59	0.02	0.58	2.03	3.16	2.76	0.08	1.98	2.02	100.21		4.01
10	Shg R	72.66	0.09	15.39	0.47	1.04	0.03	0.24	1.69	3.49	2.87	0.06	1.26	0.76	100.05		6.10
11	Shg S	52.40	0.74	15.14	8.20	0.14	9.66	8.02	2.63	0.95	0.09				97.97		0.76
12	Shg T	63.93	0.34	16.65	1.12	3.03	0.07	2.39	4.21	2.98	2.34	0.11	2.08	0.90	100.15		1.69
13	Shg U	67.20	0.32	17.31	0.50	1.63	0.03	0.43	3.90	3.71	2.34	0.10	1.33	0.74	99.54		4.84
14	Shg W	63.52	0.41	16.55	1.68	2.57	0.08	3.27	5.00	3.07	1.86	0.10	1.49	0.84	100.44		1.25
15	Shg X	66.42	0.29	15.94	2.47	0.71	0.02	1.81	3.49	3.48	2.33	0.09	0.99	1.66	99.70		1.62
16	Shg Y-1	53.35	0.99	15.33	1.80	6.96	0.15	7.98	7.23	2.83	1.29	0.21	1.75	0.58	100.45		1.08
	Shg Y-2	51.33	1.00	14.83	9.78	0.20	5.86	7.01	2.96	0.98	0.16				94.11		1.50
17	Tat	66.17	0.33	16.66	2.90	0.05	1.15	3.56	3.75	3.35	0.09				98.01		2.27
18	Shb*	53.43	1.10	15.94	3.06	4.74	0.15	7.49	7.96	2.79	1.17	0.17	1.17	0.83	100.00		1.00
19	Hig*	51.46	1.03	15.66	3.20	5.89	0.22	5.06	9.15	2.67	0.98	0.18	4.15	0.36	100.01		1.73
	Hig	53.12	1.01	15.64	8.62	0.16	6.68	8.29	2.87	1.13	0.15				97.67		1.16
20	Fji	56.24	0.67	14.76	7.31	0.15	7.39	6.76	2.69	1.57	0.08				97.62		0.89
21	Krs	54.85	0.55	14.63	7.65	0.13	9.89	7.31	2.56	1.24	0.06				98.87		0.70
22	Odk	64.62	0.65	16.49	2.18	2.95	0.10	1.07	4.35	3.38	2.58	0.16	0.75	0.71	99.99		4.59
23	Ksm	64.51	0.58	16.96	1.71	2.24	0.07	1.48	4.45	3.40	2.49	0.15	1.57	0.39	100.00		2.55
24	Tkn	69.83	0.14	14.35	2.02	0.06	1.57	2.27	3.32	3.35	0.05				96.96		1.16
25	Krn	58.19	0.72	15.18	1.65	5.16	0.13	6.83	6.91	2.94	1.66	0.10	1.25	0.18	100.90		0.97
	Krn*	57.05	0.75	15.07	2.24	5.72	0.17	6.59	6.80	2.79	1.47	0.11	0.94	0.30	100.00		1.17
	Kam	55.88	0.70	14.67	7.43	0.27	7.52	6.93	2.57	1.45	0.08				97.50		0.89
	Kam	60.17	0.54	15.16	5.57	0.13	5.08	5.58	3.01	2.08	0.09				97.41		0.99
	Kam	62.04	0.54	15.58	5.23	0.06	4.36	5.06	3.19	1.96	0.10				98.12		1.08
	Kam*	57.68	0.75	15.44	3.66	3.08	0.11	6.04	6.42	2.73	1.44	0.11	1.24	1.28	99.98		1.06
26	Kam*	59.32	0.94	14.61	2.31	4.91	0.14	5.90	4.46	3.33	1.64	0.17	1.71	0.56	100.00		1.18
	Kam*	61.89	0.48	15.73	3.12	2.67	0.08	3.53	5.07	2.94	1.94	0.10	1.00	1.44	99.99		1.55
	Kam	56.70	0.71	14.86	7.54	0.19	6.51	6.36	2.79	1.48	0.09				97.23		1.04
	Kam	56.63	0.76	15.85	6.13	0.18	5.38	7.67	2.83	1.19	0.09				96.71		1.03
	Kam	55.04	0.71	14.78	7.28	0.22	5.86	7.75	2.69	1.27	0.09				95.69		1.12
	Fuj*	61.98	0.58	17.10	1.75	3.60	0.11	2.17	5.27	2.98	2.51	0.12	1.61	0.20	99.98		2.38
27	Myj	65.30	0.59	18.12	1.12	2.67	0.09	1.29	4.81	3.59	2.41	0.12	0.30	0.00	100.41		2.85
28	Myj	62.02	0.58	17.07	1.08	0.09	1.34	5.58	3.33	2.43	0.11	2.75	0.26	0.00	96.64		0.73
	Myj	62.50	0.60	16.89	1.10	3.42	0.11	2.22	5.31	3.06	2.61	0.11	1.66	0.52	100.11		1.99
	Myj*	65.99	0.57	17.58	2.39	0.29	0.03	0.48	3.45	2.99	2.50	0.13	1.79	1.81	100.00		5.08
29	Ter*	65.81	0.41	14.60	3.25	0.40	0.05	3.29	3.34	3.17	2.49	0.09	1.13	1.99	100.02		1.01
	Ter*	63.95	0.44	14.57	2.32	2.37	0.08	5.48	3.41	3.29	2.42	0.09	0.97	0.60	99.99		0.81
30	Ksg	62.44	0.67	17.60	5.25	0.11	1.88	5.70	3.28	2.21	0.10				99.24		2.51
	Ksg*	61.34	0.72	17.58	3.16	2.20	0.10	1.98	5.65	2.95	2.18	0.13	0.56	1.45	100.00		2.55
31	Tai	62.64	0.68	17.52	4.43	0.07	1.30	5.39	3.10	2.38	0.11				97.62		3.07
	Tai*	61.97	0.71	17.75	1.53	4.26	0.11	1.79	5.77	3.28	2.26	0.13	0.40	0.05	100.01		3.15
32	Doz*	72.29	0.07	14.14	1.23	0.49	0.03	0.09	1.69	3.71	3.48	0.03	2.65	0.10	100.00		17.74
	Doz*	71.86	0.08	14.02	1.03	0.97	0.03	0.13	1.66	2.63	3.47	0.03	3.63	0.47	100.01		14.59

Table 2 (continued)

表2 (続き)

No	Label	SiO ₂ wt%	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O(+)	H ₂ O(-)	Total	LOI	FeO ^{total} / MgO
33	Mdk*	73.10	0.07	14.62	1.21	0.38	0.01	0.13	1.31	3.04	3.28	0.04	1.74	1.06	99.99		11.30
		70.85	0.17	15.73	0.81	1.00	0.02	0.24	2.12	3.52	3.19	0.07	1.30	1.00	100.02		7.20
34	Hat*	64.61	1.03	18.52	1.53	0.94	0.05	0.81	4.77	2.58	2.23	0.20	1.64	1.10	100.01		2.86
		61.39	0.82	16.64	2.44	3.46	0.17	2.30	5.08	2.69	2.26	0.17	1.71	0.87	100.00		2.46
35	Anm*	60.74	0.77	18.19	1.79	3.00	0.12	1.29	4.97	2.99	2.17	0.22	3.50	0.25	100.00		3.57
		63.10	0.51	18.09	1.22	2.49	0.10	0.83	4.16	2.85	2.63	0.18	3.60	0.24	100.00		4.32
36	Rkt*	71.18	0.13	14.17	0.71	0.92	0.04	0.19	2.09	3.00	3.25	0.05	4.04	0.23	100.00		8.20
37	Unb	74.23	0.04	15.16	0.57		0.01	0.11	0.90	2.48	3.87	0.03			97.40		4.66
38	Iwh	51.05	0.63	14.07	8.92		0.12	8.59	7.39	1.92	0.70	0.08			93.47		0.93
39	Hir	61.90	0.42	15.76	0.84	4.87	0.11	3.36	5.10	3.08	1.92	0.11	2.94	0.10	100.51		1.67
40	Srk N	59.85	0.57	15.44	5.80		0.11	5.01	5.61	2.86	1.72	0.08			97.05		1.04
41	Srk S	59.64	0.53	17.25	4.59		0.11	1.89	5.56	3.39	2.12	0.11			95.19		2.19
42	Dak-m	65.68	0.28	13.91	3.77		0.07	4.52	3.94	2.90	2.86	0.05			97.98		0.75
	Dak-c	68.32	0.26	14.65	3.39		0.03	2.16	2.89	3.03	3.17	0.05			97.95		1.41
43	Kan	61.42	0.54	17.91	4.62		0.08	2.18	5.27	3.50	2.01	0.10			97.63		1.91
44	Kin 1	60.86	0.31	13.32	0.71	3.99	0.08	4.20	4.72	2.83	2.75	0.07	5.35	0.60	99.79		1.10
45	Kin 2	65.05	0.26	13.76	3.91		0.08	4.59	3.73	2.87	2.91	0.04			97.20		0.77
46	Smy	57.99	0.59	14.94	6.50		0.11	8.07	6.03	2.98	1.59	0.09			98.89		0.72
47	Mzm	63.52	0.53	17.02	4.43		0.11	2.70	4.85	3.35	2.32	0.11			98.94		1.48
48	Azt	60.80	0.45	16.65	4.88		0.09	3.30	6.09	3.38	1.80	0.08			97.52		1.33
	Kon	55.34	0.91	17.00	7.99		0.14	4.63	7.69	2.94	0.98	0.22			97.84		1.55
49	Kon	54.16	0.91	16.71	7.56		0.14	3.95	7.41	2.85	0.95	0.17			94.81	5.0	1.72
	Kon	56.08	0.97	17.28	7.93		0.15	4.70	7.68	2.98	0.95	0.17			98.89	1.7	1.52
50	Nkg	57.05	0.54	14.75	5.07		0.12	3.40	7.53	2.40	1.57	0.07			92.50	7.3	1.34
51	Ogr	56.68	0.51	14.36	5.03		0.10	3.57	6.40	2.34	1.62	0.07			90.68		1.27
52	Tub	72.53	0.80	14.32	1.82		0.02	0.51	0.34	2.71	4.69	0.18			97.92		3.21
53	Ntm	71.14	0.46	14.95	2.90		0.06	1.04	2.48	3.56	3.28	0.11			99.98		2.51
54	Kuz-m	47.75	1.35	15.45	9.53		0.15	7.86	10.82	2.07	0.70	0.16			95.84		1.09
	Kuz-c	71.92	0.43	14.06	2.52		0.03	1.10	0.43	2.51	4.19	0.08			97.27		2.06
	Kso-m	47.98	1.43	15.64	9.76		0.16	7.80	8.64	2.27	2.10	0.12			95.90	3.8	1.13
	Kso-c	69.70	0.52	13.76	3.41		0.05	1.58	2.25	2.98	4.40	0.07			98.72	3.5	1.94
55	Kso-3m	49.27	1.49	15.75	10.08		0.18	7.35	8.79	2.98	1.56	0.14			97.59	3.5	1.23
	Kso-3	50.81	1.30	16.39	9.51		0.17	7.81	8.71	2.82	1.16	0.11			98.79	3.8	1.10
	Kso-3c	70.38	0.51	13.97	3.17		0.05	1.42	1.81	3.51	4.10	0.07			98.99	3.0	2.01
56	Mtk	64.45	1.01	15.01	5.17		0.09	2.60	2.46	3.10	3.29	0.19			97.37		1.79
	Mtn-m	51.97	2.14	15.09	9.18		0.24	3.88	4.37	1.12	2.25	0.24			90.48		2.13
57	Mtn	52.61	2.18	14.39	9.13		0.15	3.77	7.59	2.23	1.18	0.25			93.48		2.18
	Mtn	55.76	1.71	14.50	7.88		0.13	3.60	5.48	2.27	2.20	0.22			93.75		1.97
	Mtn-c	69.56	0.37	12.50	2.51		0.06	0.83	2.43	1.91	4.16	0.13			94.46		2.72
58	Okn	53.43	2.28	14.58	9.63		0.16	3.82	7.42	2.36	1.45	0.26			95.39		2.27
59	Sgo-m	53.31	1.99	15.40	10.07		0.16	4.46	8.26	2.39	1.17	0.25			97.46	3.0	2.03
	Sgo-c	76.71	0.25	13.76	0.96		0.01	0.42	0.12	0.09	5.73	0.20			98.25	3.1	2.06
60	Azm	53.95	1.87	13.86	8.48		0.18	3.07	7.29	1.99	2.07	0.25			93.01		2.49
61	Set 810	55.45	2.54	14.84	10.33		0.18	3.63	6.49	2.58	1.81	0.21			98.06	4.7	2.56
62	Ikg	65.10	0.90	16.26	5.68		0.12	3.34	5.32	0.15	2.01	0.16			99.04	9.3	1.53
63	Ikr	52.53	1.45	15.56	8.37		0.15	3.71	8.01	2.74	1.48	0.18			94.18		2.03
64	Tkg	52.61	1.52	15.32	8.76		0.15	4.40	8.33	2.77	1.50	0.18			95.54		1.79
65	Ido-c	59.30	1.31	12.67	6.93		0.13	1.29	4.03	2.57	2.95	0.32			91.50		4.83
	Ido-m	55.47	2.30	15.20	9.83		0.17	3.87	7.54	2.44	1.25	0.20			98.27	5.2	2.29
66	Stk	53.60	1.62	15.88	9.16		0.16	4.65	8.34	2.80	1.30	0.16			97.67	2.8	1.77
67	Mko	58.56	0.92	16.04	6.05		0.07	3.48	5.94	2.45	2.58	0.14			96.23		1.56

Table 2 (continued)

表2 (続き)

No	Label	SiO ₂ ^{wt%}	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O(+)	H ₂ O(-)	Total	LOI	FeO ^{total} /MgO
68	Otn-1	53.62	0.76	16.00	5.51	0.13	3.68	8.23	2.28	2.08	0.08				92.37		1.35
69	Otn-2	54.12	0.81	15.39	5.63	0.11	4.15	4.74	3.36	4.32	0.12				92.75		1.22
70	Gmd	52.50	2.34	14.04	9.74	0.16	3.73	7.09	2.13	1.74	0.25				93.72		2.35
71	Sbd	58.47	0.55	14.18	4.48	0.08	5.96	4.67	2.11	2.73	0.09				93.32		0.68
72	Ina 1	54.83	1.00	16.83	7.84	0.09	4.50	6.47	3.67	1.33	0.16				96.72		1.57
73	Ina 2	61.76	0.96	16.25	5.16	0.07	2.50	3.82	3.35	2.70	0.15				96.72		1.86
74	Hak	52.14	1.42	14.34	8.97	0.17	5.96	8.76	1.87	2.90	0.19				96.72		1.35
75	San	75.74	0.06	12.94	1.29	0.03	0.08	0.21	3.17	4.74	0.14				98.40		14.51
76	Ikd	75.93	0.07	13.10	0.33	0.01	0.07	0.27	3.21	5.05	0.10				98.14		4.24
77	Yud	75.68	0.06	12.66	2.03	0.05	0.09	0.27	1.92	4.65	0.15				97.56		20.29
78	His	63.55	0.37	15.53	3.30	0.08	1.89	3.93	3.36	2.64	0.08				94.73		1.57
79	Taw	68.20	0.37	17.26	2.83	0.05	0.11	0.16	2.40	3.09	0.10				94.57		23.15
80	Sak	65.23	0.27	14.79	2.78	0.08	1.43	4.64	3.16	2.61	0.05				95.04		1.75
81	Kas	63.53	0.19	14.56	3.09	0.04	2.99	3.79	3.20	2.45	0.05				93.89		0.93
82	Sga	52.26	0.70	14.95	7.44	0.17	6.23	7.63	2.68	1.03	0.09				93.18		1.07
83	Trb	61.62	0.75	16.23	4.82	0.09	2.56	5.50	3.29	2.03	0.12				97.01		1.69
84	Itk	63.43	0.74	16.51	4.50	0.08	2.17	5.07	3.17	2.23	0.12				98.02		1.87
85	Ntb	57.01	0.70	16.54	6.78	0.11	4.49	6.99	2.95	1.37	0.13				97.07		1.36
86	Kit-1	64.21	0.73	16.50	4.64	0.08	2.20	5.12	3.16	2.26	0.13				99.03		1.90
87	Kit-2	62.42	0.74	16.66	4.54	0.06	1.97	5.36	3.09	2.19	0.13				97.16		2.07
88	Nak-m	44.08	0.41	13.31	7.04	0.28	7.49	9.31	2.57	0.75	0.06				85.30	14.2	0.85
	Nak-c	50.45	0.39	12.82	5.44	0.11	7.33	6.47	2.14	0.92	0.06				86.13	13.4	0.67
89	Ain-m	55.37	0.54	14.46	4.78	0.09	3.39	5.83	3.30	1.70	0.10				89.56		1.27
	Ain-c	55.70	0.59	15.83	5.19	0.06	3.62	7.73	2.02	0.60	0.11				91.45		1.29
90	Yns	53.66	0.75	14.83	6.32	0.10	4.27	6.02	2.70	1.50	0.10				90.25		1.33
91	Enm-m	63.25	0.33	15.67	4.26	0.09	2.95	4.71	3.70	1.54	0.08				96.58		1.30
	Enm-c	61.69	0.29	15.02	3.77	0.07	2.16	4.47	2.57	2.31	0.07				92.42	7.2	1.57
92	Toi	73.53	0.23	14.79	2.17	0.05	0.93	3.10	2.13	2.70	0.09				99.72		2.10
93	Okm	48.62	0.55	12.36	6.58	0.10	9.38	5.10	2.02	1.34	0.06				86.11	13.7	0.63
94	Tui	51.58	0.61	14.02	6.40	0.11	5.54	5.65	2.82	1.36	0.09				88.18	11.9	1.04
95	Hnt	55.22	0.64	13.63	6.14	0.11	7.05	7.06	2.40	1.05	0.07				93.37		0.78

Table 3. Whole-rock trace element chemistry. lld: low limit of detection. Some sample names with * in the second column (Label) of the table are after from Yokoo (1994).

表3. 全岩微量元素組成. lld: 検出下限以下. Label列の試料名に*が付記されているものは, 横尾(1994)から引用した.

No	Label	Ba ^{ppm}	Cr	Cu	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr	Co	Th
1	Rok	535	181	31	6	97	22	97	468	47	50	50	132		
2	Kbt	492	281	19	6	86	12	77	400	68	17	57	152		
3	Isk	448	201	15	6	14	13	50	253	174	20	75	98		
4	Hoz														
5	Shg A	352	308	37	6	75	9	52	248	212	23	80	109		
6	Shg F														
7	Shg G														
8	Shg J														
9	Shg N-m														
	Shg N-c														
10	Shg R														
11	Shg S	246	505	41	4	226	8	37	270	198	18	66	79		
12	Shg T														
13	Shg U														
14	Shg W														
15	Shg X														
16	Shg Y-1														
	Shg Y-2	318	324	42	11	166	8	28	354	196	21	108	131		
17	Tat	548	9	8	7	6	24	116	363	30	11	48	129		
18	Shb*	306	304		6	86		37	283	232	23		115	44	3
19	Hig*	269	400		5	110		34	291	234	26		110	40	4
	Hig	300	303	34	6	86	7	34	299	237	20	76	109		
20	Fji	376	340	46	5	116	10	54	247	188	17	70	97		
21	Krs	281	544	47	4	252	10	40	254	182	17	62	83		
22	Odk	559	10		9	4		102	286	40	31		176	10	10
23	Ksm	564	62		7	9		91	460	66	21		155	7	8
24	Tkn	603	89	14	7	25	27	117	238	26	12	40	68		
25	Krn														
	Krn*	383	458		5	112		50	232	198	24		100	42	4
	Kam	367	383	39	6	127	11	47	238	198	18	72	93		
	Kam	435	252	21	5	75	16	73	262	129	17	59	102		
	Kam	462	240	29	6	75	14	78	267	105	18	67	104		
	Kam*	390	408		5	119		37	242	178	21		106	39	4
26	Kam*	374	451		8	217		54	350	160	19		130	41	4
	Kam*	497	261		5	35		68	230	119	25		103	25	6
	Kam	370	406	34	6	137	8	52	239	174	18	74	96		
	Kam	430	439	37	6	84	10	37	280	192	21	69	103		
	Kam	395	411	39	5	121	9	46	258	176	17	71	98		
	Fuj*	565	23		7	5		93	276	94	21		135	15	9
27	Myj														
28	Myj														
	Myj*	539	7		7	2		102	293	19	18		139	3	9
29	Ter*	503	192		6	92		99	286	58	13		94	18	7
		506	343		6	158		96	284	80	17		106	26	7
30	Ksg	530	6	5	7	2	14	82	308	55	22	67	130		
	Ksg*	489	35		6	10		79	293	77	22		132	17	7
31	Tai	565	10	6	7	5	17	89	330	34	24	69	135		
	Tai*	513	7		7	2		83	297	62	23		138	13	8
32	Doz*	662	4		8	3		126	194	6	5		76	0	10
		651	6		8	3		131	186	7	6		74	0	10

Table 3 (continued)

表3 (続き)

No	Label	Ba ^{ppm}	Cr	Cu	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr	Co	Th
33	Mdk*	616	4		8	3		126	156	7	8		73	0	10
		724	5		8	3		125	234	7	17		166	2	15
34	Hat*	498	41		9	5		89	279	96	34		176	8	7
		486	43		8	16		86	271	94	34		164	21	7
35	Anm*	598	18		8	8		97	303	44	40		256	13	8
		667	11		8	5		104	309	23	33		298	11	9
36	Rkt*	688	7		7	2		119	214	11	8		79	1	12
37	Unb	822	4	2	8	1	30	155	157	5	8	33	43		
38	Iwh	380	817	46	5	338	8	14	316	192	87	92	83		
39	Hir														
40	Srk N	406	185	25	6	37	13	65	275	145	17	67	103		
41	Srk S	516	45	17	6	15	18	83	405	49	19	59	141		
42	Dak-m	534	220	36	6	108	20	109	172	105	22	53	63		
	Dak-c	662	168	22	7	42	25	121	170	82	29	46	69		
43	Kan	520	41	16	6	12	19	84	412	50	21	57	144		
44	Kin 1														
45	Kin 2	553	223	25	6	100	21	110	165	99	26	52	59		
46	Smy	370	409	71	6	256	13	54	327	148	16	64	105		
47	Mzm	580	75	13	7	50	18	89	292	48	21	60	135		
48	Azt	455	34	12	5	4	15	66	358	123	15	59	121		
	Kon	259	173	28	9	73	7	29	350	137	22	86	139		
49	Kon	126	194	33	11	63		24	364	219	21	61	160		
	Kon	107	204	37	11	71		33	352	235	24	63	158		
50	Nkg	444	144	23	6	16	12	55	313	145	16	66	89		
51	Ogr	473	13	20	6	14	15	55	340	133	14	67	86		
52	Tub	718	22	20	17	10	10	153	180	59	30	39	198		
53	Ntm	594	23	14	10	6	27	133	226	38	22	51	169		
54	Kuz-m	89	342	40	9	63	2	36	287	217	23	66	100		
	Kuz-c	623	39	13	10	14	24	149	120	39	27	48	162		
55	Kso-m	l1d	383	44	13	55		101	345	360	40	88	124		
	Kso-c	490	62	21	14	22		152	145	98	56	23	169		
55	Kso-3m	l1d	349	46	13	54		75	328	366	34	91	126		
	Kso-3	l1d	403	41	12	65		57	301	325	31	86	120		
	Kso-3c	498	61	20	13	19		141	143	97	50	22	162		
56	Mtk	580	53	32	16	22	15	106	261	96	28	80	212		
	Mtn-m	1020	80	13	13	4	6	70	175	214	27	85	149		
57	Mtn	228	70	15	13	3	7	48	297	204	27	86	154		
	Mtn	506	75	14	13	5	8	61	262	175	27	77	142		
	Mtn-c	510	18	8	9	6	30	171	112	30	29	53	107		
58	Okn	275	68	14	14	2	6	55	305	206	29	87	159		
59	Sgo-m	199	96	31	12	35	l1d	60	327	195	26	37	139	37	1
	Sgo-c	436	13	l1d	10	8	16	248	24	17	18	8	101		8
60	Azm	306	64	12	13	1	8	69	357	149	28	82	151		
61	Set 810	l1d	79	11	20	6		99	327	464	46	82	190		
62	lkg	338	88	19	14	16		64	249	187	33	41	198		
63	lkr	302	111	13	12	8	6	45	302	203	27	79	142		
64	Tkg	373	106	8	13	2	8	46	292	196	29	83	153		
65	Ido-c	853	11	13	17	5	14	77	246	52	37	96	220		
	Ido-m	l1d	93	13	20	3		53	306	439	33	78	178		
66	Stk	l1d	151	16	17	l1d		33	373	364	28	72	169		
67	Mko	374	86	16	8	16	9	102	318	123	31	63	162		

Table 3 (continued)

表3 (続き)

No	Label	Ba ^{ppm}	Cr	Cu	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr	Co	Th
68	Otn-1	634	32	11	5	2	8	47	372	169	19	57	92		
69	Otn-2	798	57	11	6	11	8	73	482	134	20	59	121		
70	Gmd	586	65	15	14	3	6	51	322	204	29	89	163		
71	Sbd	672	265	39	5	144	15	61	444	98	13	52	109		
72	Ina 1	667	32	7	9	5	6	33	388	116	34	57	192		
73	Ina 2	788	27	36	9	7	5	67	333	99	31	42	183		
74	Hak	307	226	6	13	34	2	115	289	211	59	39	142		
75	San	46	5	3	8	4	16	308	9	1	21	12	50		
76	lkd	84	5	3	7	4	9	221	20		25	6	46		
77	Yud	46	29	24	9	5	15	340	12	1	23	68	51		
78	His	608	27	8	7	9	19	81	313	55	14	49	99		
79	Taw	444	8	6	7	8	23	94	253	19	11	29	125		
80	Sak	485	116	24	5	41	19	62	386	76	11	50	75		
81	Kas	516	130	15	5	9	22	71	320	55	9	24	74		
82	Sga	298	211	42	5	68	10	38	382	215	20	66	96		
83	Trb	468	39	8	8	7	15	75	302	88	20	61	140		
84	Itk	493	34	13	8	12	16	82	300	78	21	64	141		
85	Ntb	435	4	22	7	12	13	51	601	150	24	67	124		
86	Kit-1	503	37	15	8	7	17	84	300	76	20	63	145		
87	Kit-2	505	28	12	8	7	21	81	303	77	20	65	142		
88	Nak-m	500	477	73	5	275	7	17	619	159	16	53	87		
	Nak-c	432	456	26	5	288	8	24	517	159	15	51	87		
89	Ain-m	536	54	3	6	8	11	55	306	118	15	55	104		
	Ain-c	457	60	14	6	8	20	16	580	131	14	85	121		
90	Yns	433	45	42	7	28	5	48	311	157	17	68	102		
91	Enm-m	525	91	17	6	12	19	90	375	95	12	59	117		
	Enm-c	557	83	16	6	13	16	62	388	93	13	52	113		
92	Toi	329	45	15	7	10	48	85	251	20	15	33	118		
93	Okm	599	519	67	5	265	5	45	364	166	16	55	80		
94	Tui	922	191	44	6	37	6	57	195	168	16	61	83		
95	Hnt	376	350	31	5	139	6	36	214	143	19	54	94		

考察

火山岩類の中には斑晶、石基とも変質鉱物に置換されたものがあるので、化学組成を検討する前に変質程度を確認する。続いて、大台 - 室生テフラを鍵層として二上山、奈良春日山、吉野の各地域での層序を対比する。層序対比から推定された火山活動の時間的変化をステージ区分として示す。さらに、ステージごとの特徴を述べ、対象地域に孤立・点在する火山岩類を、おもに全岩化学組成にもとづいてステージとの対比を試みる。

1. 変質強度と変質特性

本地域の火山岩には斑晶や石基の大部分が変質鉱物に交代されているものがみられる。鏡下で確認できた変質鉱物は緑泥石、絹雲母、方解石などである。サポーナイトなどの粘土鉱物や沸石は確認されていない。変質鉱物の多くは含水鉱物や炭酸塩鉱物であり、これらを含む火山岩は $H_2O(+/-)$ 量または、強熱減量(LOI)が大きい。LOIを測定しなかった場合は主成分合計が100%を大きく下回るものが変質程度の大きいサンプルと推定される。変質にともなってアルカリ(Na_2O, K_2O)やイオン半径の大きいRbなどは移動しやすいとされる(例えば、Miyashiro, 1975)。そこで、Miyashiro(1975)は化学組成の変質による影響をアルカリの量とその比で推定した(図11a)。新鮮な火山岩は図11aの右上の曲線(V-Vライン)を越えないとされる(Miyashiro, 1975)。本報告の対象地域の火山岩にV-Vラインを越えるものはなく、島弧の火山岩(破線)、または、アジア大陸東縁のアルカリ岩(点線)の範囲に入る。ただし、千石岳西流紋岩(59)と井光川デイサイト(62)のY軸の値(Na_2O/K_2O)は0.1未満である。

図11aはおもに玄武岩質岩を対象としている。流紋岩なども含めての変質強度と変質特性をLarge et al.(2001)による図11bで検討する。図11bはグリーンタフ地域での黒鉄形成にともなう熱水変質を検討の対象としたものである。変質強度(Alteration Index = $100(K_2O + MgO)/(K_2O + MgO + Na_2O + CaO)$)は、熱水変質により溶脱しやすい元素(NaおよびCa)と添加しやすい元素(KおよびMg)の比で表される。CCPI(Chlorite-carbonate-pyrite-index) = $100(MgO + FeO)/(MgO + FeO + Na_2O + K_2O)$ は熱水変質によるアルカリ長石、絹雲母、緑泥石、炭酸塩や黄鉄鉱の置換の程度を示している。内側の枠内(Least altered box)であれば変質は弱いとされる。この図11bでも千石岳西の流紋岩(59)は大きく外れる。一方、井光川デイサイト(62)は枠内に収まる。また、図11bでは畝傍山流紋岩(37)、筏場地域(75, 76, 77)や岩橋山玄武岩質安山岩(38)、国栖玄武岩(54)もLeast altered boxの外側にプロットされる。

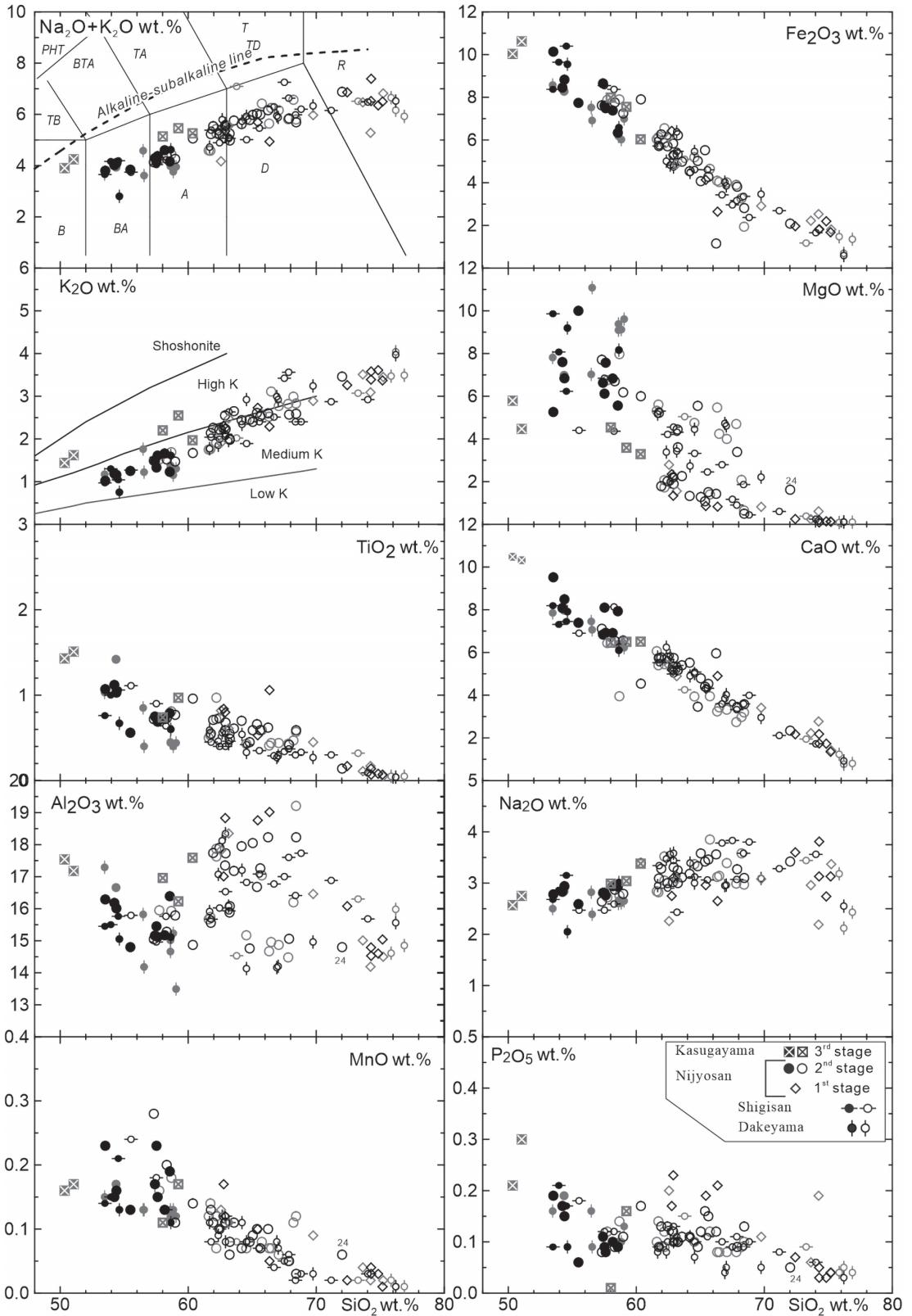
本報告では図11a, bのいずれでも変質による影響が大きいと推定された千石岳西の流紋岩(59)は図にプロットせず、検討の対象としない。

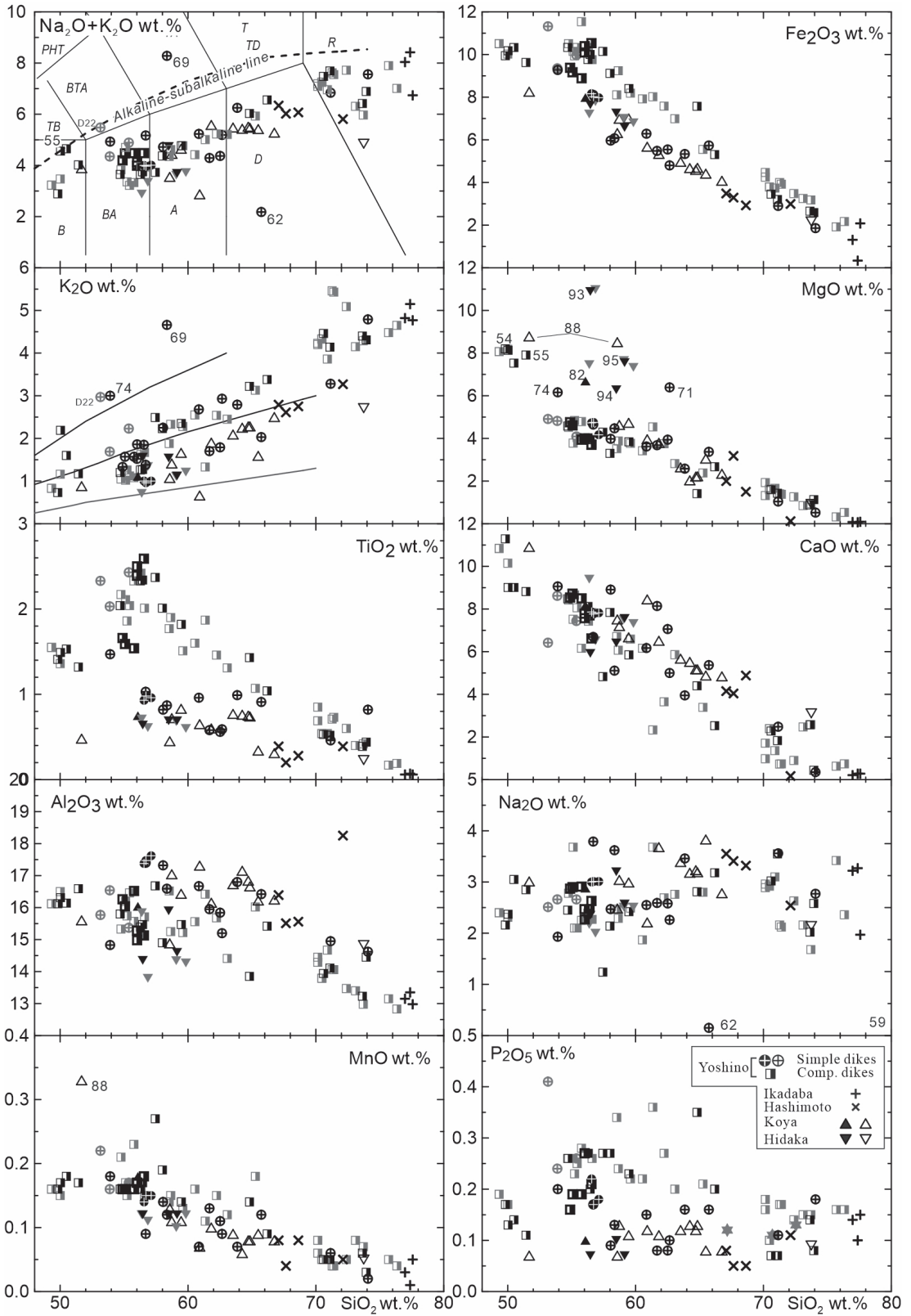
2. 火山活動のステージ区分

先述したように、対称地域では火山岩類の岩石学的特徴が時系列的に変化している。この変化をステージと位置づけると、次の3ステージに区分される。第1ステージは二上山地域のドンズルポー累層が該当し、おもに流紋岩とデイサイトを噴出した活動で、黒雲母とざくろ石が特徴的に含まれている。第2ステージは二上

Fig. 8. Harker diagrams of major elements of volcanic rock from northern area of the MT L (Median Tectonic Line). Boundary lines and field name in TAS (total alkali - silica) diagram are from Le Bas et al. (1986). The dividing line between alkaline and subalkaline compositions is from Miyashiro (1978). Boundary lines in $SiO_2 - K_2O$ diagram are from Peccerillo and Taylor (1976). Some data are from; Kasama (1989); Morimoto et al. (1957); Sato et al. (2013); Shimoda et al. (1998); Shinjoe et al. (2007); Tatsumi and Ishizaka (1982); Yamazaki and Onuki (1969). The numbers attached to the symbols are the same as in Table 2. B: basalt, BA: basaltic andesite, A: andesite, D: dacite, R: rhyolite, TB: trachybasalt, BTA: basaltic-trachyandesite, TA: trachyandesite, TD: trachydacite, T: trachyte.

図8. 主成分分ハーカー図。中央構造線より北の火山岩類。 $SiO_2 - (Na_2O + K_2O)$ 図での岩石区分境界線はLe Bas et al. (1986)、アルカリ岩と非アルカリ岩の境界はMiyashiro (1978)。 $SiO_2 - K_2O$ 図の境界線はPeccerillo and Taylor (1976)による。シンボルに添えた数字は表2に同じ。いくつかのデータは次の文献を使用した。笠間(1959); Morimoto et al. (1957); 佐藤ほか(2013); Shimoda et al. (1998); 新正ほか(2007); Tatsumi and Ishizaka (1982); 山崎・大貫(1969)。B: 玄武岩, BA: 玄武岩質安山岩, A: 安山岩, D: デイサイト, R: 流紋岩, TB: 粗面玄武岩, BTA: 玄武岩質粗面安山岩, TA: 粗面安山岩, TD: 粗面岩質デイサイト, T: 粗面岩。





山地域の原川累層と定ヶ城累層の下部に該当する。これらは、大台-室生テフラよりも下位の層準に位置し、高マグネシア安山岩を含む玄武岩質安山岩、安山岩、デイサイトを噴出した活動である。第3ステージは大台-室生テフラ噴出以降に活動した奈良春日山地域の春日山累層、および、吉野地域の武木弧状岩脈群の活動が相当する。おもに、玄武岩～安山岩と流紋岩（複合岩脈）を噴出した活動である。第1～第3ステージごとに岩石種と全岩化学組成の違いが認められることを手がかりとして、次節以降で孤立して分布する火山岩類にも各ステージとの対比を試みる。

3. 流紋岩の対比

流紋岩はおもに、第1ステージ（ドンズルポー累層）と第3ステージ（吉野地域の複合岩脈）に産する。両ステージの流紋岩を比較して違いを明らかにしたうえで、どちらのステージに相当するか検討する。第1、第3ステージの流紋岩はいずれも有色鉱物として、黒雲母とざくろ石を含む点で共通する。一方、主成分を比較すると、第1ステージの流紋岩は第3ステージのものより Al_2O_3 、 CaO 、 Na_2O に富み、 TiO_2 、 MnO 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 K_2O に乏しい傾向が認められる（図8、9）。微量成分では、前者が後者より Ni 、 Cr 、 Sr に富み、 Y 、 Nb 、 Zr に乏しい傾向が認められる（図10）。この傾向は新正ほか（2007）が瀬戸内火山岩類と吉野地域の珪長質岩などを比較して明らかにした特徴と一致する。微量成分の Y-Sr/Y 図（図12）に第1ステージと第3ステージの流紋岩（ $\text{SiO}_2 \geq 70\%$ ）をプロットし、その範囲を実線と破線で示した。第1ステージは Y に乏しく、 Sr/Y が高い。第3ステージは Y に富み、 Sr/Y が低い特徴が認められる。ステージ区分の不明な地域の流紋岩をプロットすると、第1ステージの範囲と重なるのは、竹内峠（24）、嶽山地域の畝傍山（37）、信貴山地域（新正ほか（2007）のSS5）、橋本地域の田原（79）、および、日高地域の朽砥山（92）である（図12）。竹内峠（24）は二上山地域の孤立した岩脈で、直方輝石を含むことなどから第2ステージとした。 Al_2O_3 に乏しく MgO に富むなどの特徴（図8）も第2ステージの安山岩と共通する。第2ステージの流紋岩の産出例はほかになく、検討課題である。次に、第3ステージの範囲と重なるのは吉野地域の津風呂湖（Tub, 52）と菜摘（Nat, 53）である。また、筏場地域の流紋岩は第3ステージの範囲と重ならないものの、 Sr/Y が低い特徴は第3ステージと共通する。

4. 玄武岩質安山岩および安山岩の対比

大台-室生テフラより下位の第2ステージおよびそれより上位の第3ステージの玄武岩～デイサイトについて検討する。両ステージの玄武岩～安山岩は有色鉱物として、かんらん石と輝石を含む点が共通している。両ステージの全岩組成を比較すると、第2ステージの火山岩は第3ステージのものに比べて、 MgO 、 Ni と Cr に富み、 K_2O 、 TiO_2 、 Nb 、 Zr と Y に乏しい傾向が認められる（図8-10）。玄武岩～安山岩を $\text{SiO}_2\text{-FeO}^*/\text{MgO}$ 図にプロットして図13a、bに示した。図13a、bにはそれぞれ、中央構造線よりも北側の地域（北域）と南側の地域（南域）の分布する火山岩をプロットした。両図にはMiyashiro（1974）によるソレライト系列（TH）とカルクアルカリ系列（CA）との境界を実線で、安山岩組成幅（ $\text{SiO}_2 = 53 - 63 \text{ wt. } \%$ ）に $\text{FeO}^*/\text{MgO} = 1$ のラインを破線で示した。破線より下（ $\text{FeO}^*/\text{MgO} \leq 1$ ）にプロットされるものは高マグネシア安山岩に区分される。

第2ステージの多くは図13aで高マグネシア安山岩とそれに近い領域にプロットされる。北域の第3ステージはソレライト系列玄武岩とカルクアルカリ系列の安山岩領域にプロットされる。南域の第3ステージ（複合岩脈）も多くがソレライト系列、 SiO_2 に富む安山岩はカルクアルカリ系列にプロットされる。北域、南域と

Fig. 9. Harker diagrams for major elements of volcanic rock from southern area of the MTL. Boundary lines and field name in TAS (total alkali – silica) diagram are from Le Bas et al. (1986). The dividing line between alkaline and subalkaline compositions is from Miyashiro (1978). Boundary lines in $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ diagram are from Peccerillo and Taylor (1976). Some data are from Miyake (1985), Shinjoe et al. (2003), Takashima et al. (2010) and Wada et al. (2000, 2007, 2011). The numbers attached to the symbols are the same as in Table 2. The basaltic andesite simple dikes that compose the Takegi Arcuate Dike Swarm is shown in the composite dikes symbol. B: basalt, BA: basaltic andesite, A: andesite, D: dacite, R: rhyolite, TB: trachybasalt, BTA: basaltic-trachyandesite, TA: trachyandesite, TD: trachydacite, T: trachyte.

図9. 主成分ハーカー図。中央構造線より南の火山岩類。 $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 図の岩石区分境界線は Le Bas et al. (1986)。 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 図の境界線は Peccerillo and Taylor (1976)。いくつかのデータは三宅 (1985)、新正ほか (2003)、高島ほか (2010)、和田ほか (2000, 2007, 2011) による。シンボルに添えた数字は表2に同じ。武木弧状岩脈群を構成する玄武岩質安山岩は複合岩のシンボルで示す。B: 玄武岩, BA: 玄武岩質安山岩, A: 安山岩, D: デイサイト, R: 流紋岩, TB: 粗面玄武岩, BTA: 玄武岩質粗面安山岩, TA: 粗面安山岩, TD: 粗面岩質デイサイト, T: 粗面岩。

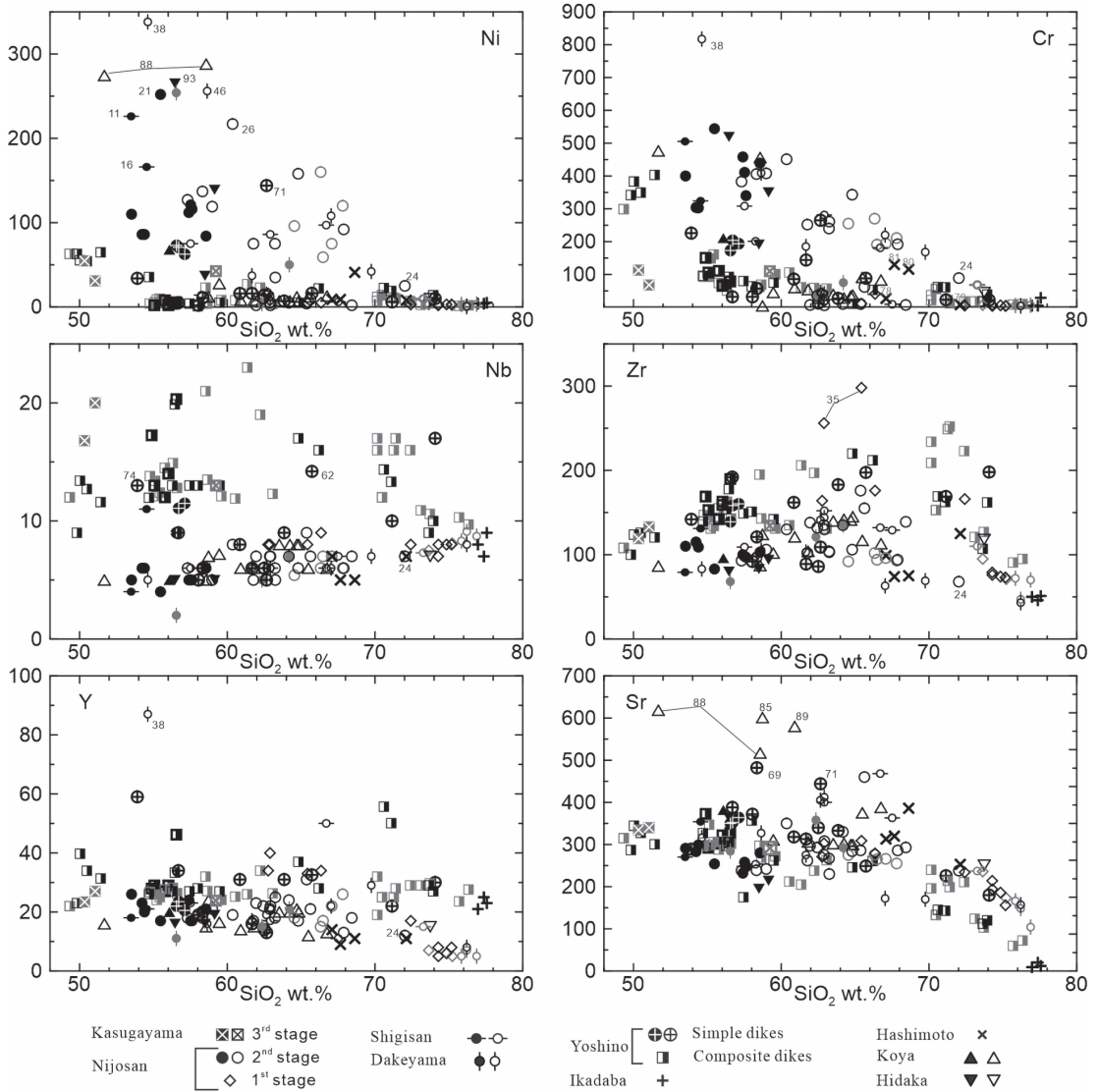


Fig. 10. Harker diagrams for trace elements. Previous study data are from Sato et al. (2013); Shimoda et al. (1998); Shinjoe et al. (2007); Tatsumi and Ishizaka (1982); Wada et al. (2000, 2007). The numbers attached to the symbols are the same as in Table 3. The basaltic andesite simple dikes that compose the Takegi Arcuate Dike Swarm is shown in the composite dikes symbol.

図10. 微量元素ハーカー図。先行研究データは、佐藤ほか(2013); Shimoda et al. (1998); 新正ほか(2003, 2007), 高島ほか(2010); Tatsumi and Ishizaka (1982); 和田ほか(2000, 2007)による。シンボルに添えた数字は表3に同じ。武木弧状岩脈群を構成する玄武岩質安山岩単純岩脈は複合岩脈のシンボルで示す。

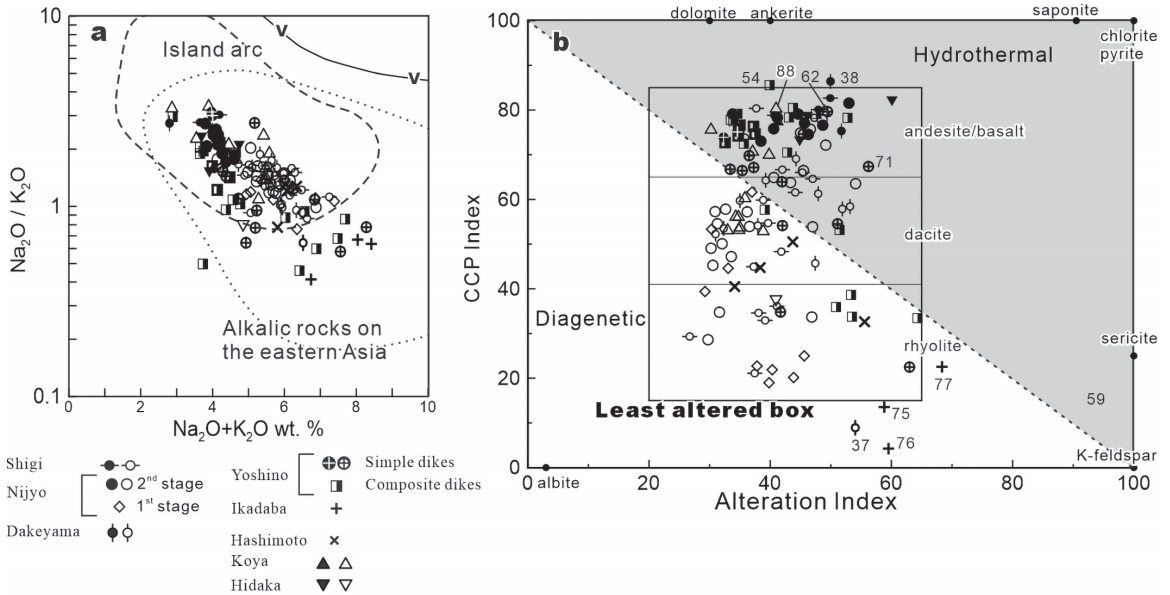


Fig. 11. Examination of alteration of volcanic rocks. a: $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ versus $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ diagram (Miyashiro, 1975). Line V-V represents the upper limit of $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ for fresh volcanic rocks. b: Alteration Index versus Chlorite-carbonate-pyrite-index (CCP Index) modified from Large et al. (2001). Alteration Index = $100(\text{K}_2\text{O}+\text{MgO})/(\text{K}_2\text{O}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO})$, Chlorite-carbonate-pyrite-index (CCP Index) = $100(\text{MgO}+\text{FeO})/(\text{MgO}+\text{FeO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$. The numbers attached to the symbols are the same as in Table 2. The simple basaltic andesite simple dike that composes the Takegi Arcuate Dike Swarm is shown in the composite dike symbol.

図11. 火山岩の変質検討図. a: $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ - $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 図 (Miyashiro, 1975). V-Vラインは新鮮な火山岩の上限値. b: 変質強度と変質特性. Large et al. (2001) にもとづく. シンボルに添えた数字は表2のNo.に同じ. 武木弧状岩脈群を構成する玄武岩質安山岩単純岩脈は複合岩脈のシンボルで示す.

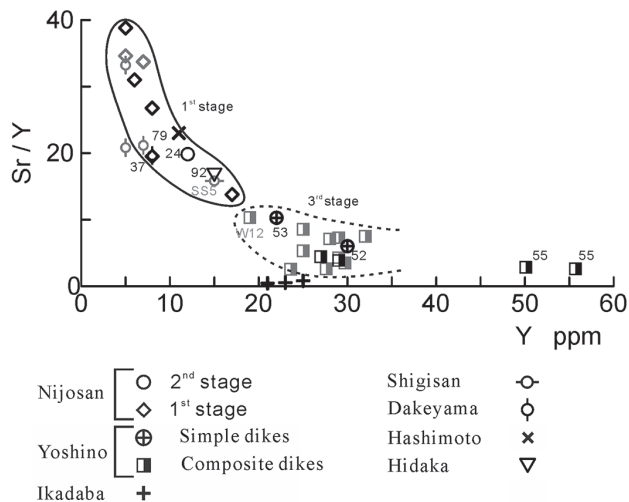


Fig. 12. Diagram Y (ppm) versus Sr/Y. Rocks with $\text{SiO}_2 \geq 70$ wt.% were plotted. Previous study data are from Shinjoe et al. (2003, 2007), Takashima et al. (2010) and Wada et al. (2007, 2011). The numbers attached to the symbols are the same as in Table 1-3. The solid line is the range of the first stage and the dashed line is the range of the third stage.

図12. Y (ppm)-Sr/Y図. $\text{SiO}_2 \geq 70$ wt.%の火山岩をプロットした. 先行研究データは, 新正ほか(2003, 2007), 高島ほか(2010), 和田ほか(2007, 2011)による. 実線は第1ステージ, 破線は第3ステージの範囲である. シンボルに添えた数字は表1-3に同じ.

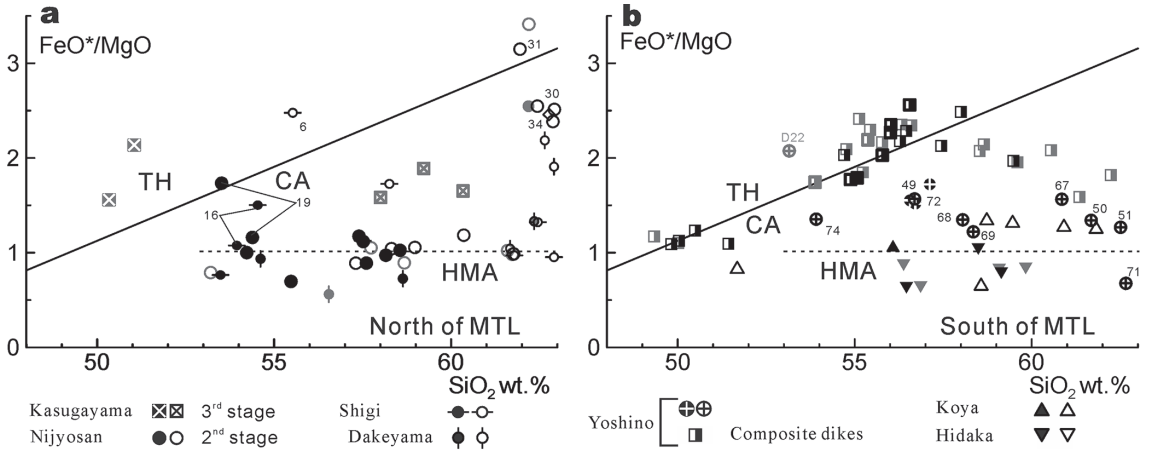


Fig. 13. Diagram SiO₂ (wt.%) versus FeO*/MgO used to differentiate calc-alkaline (CA) from tholeiite (TH) suites. The solid lines are from Miyashiro (1974). The area below dashed line corresponds to high-magnesian andesite (HMA). The basaltic andesite simple dikes that compose the Takegi Arcuate Dike Swarm is shown in the composite dikes symbol. The numbers attached to the symbols are the same as in Table 1-3.

図13. SiO₂ (wt.%) - FeO*/MgO図。ソレアイト (TH) とカルクアルカリ (CA) 系列の境界線はMiyashiro(1974)による。破線の下領域は高マグネシア安山岩。武木弧状岩脈群を構成する玄武岩質安山岩単純岩脈は複合岩脈のシンボルで示す。シンボルに添えた数字は表1-3に同じ。

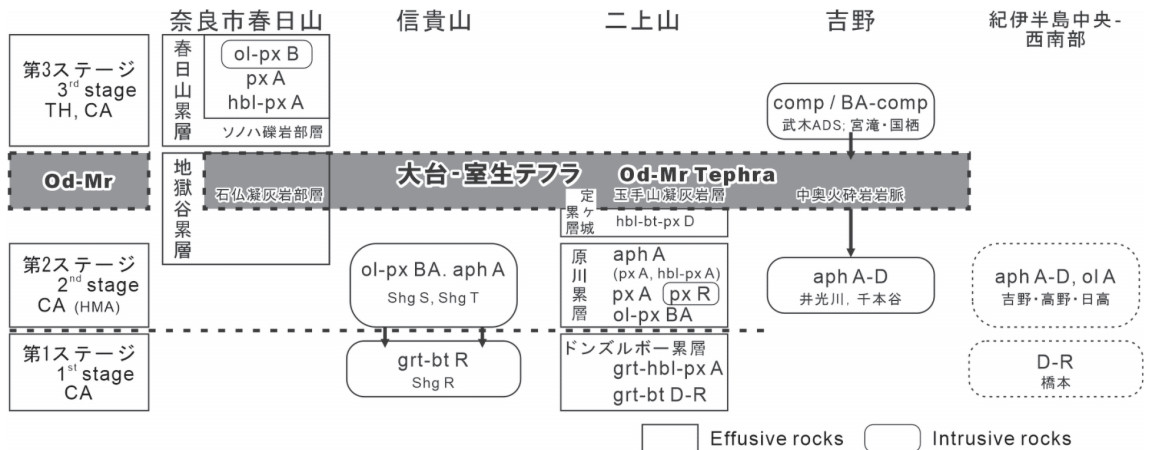


Fig. 14. Stage classification of volcanic rocks distributed in the study area. The three stages of igneous activity and the Odai-Muro tephra eruption were correlated by the temporal changes of the lithology. TH: tholeiite, CA: calc-alkaline, HMA: high-magnesian andesite, B: basalt, BA: basaltic andesite, A: andesite, D: dacite, R: rhyolite, WT: welded tuff. ol: olivine, px: pyroxene, hbl: hornblende, bt: biotite, grt: garnet.

図14. 対象地域に分布する火山岩類のステージ区分。大台-室生テフラの噴出と火山岩類の岩相変化をもとに対比した。TH: ソレアイト系, CA: カルクアルカリ系, HMA: 高マグネシア安山岩, B: 玄武岩, BA: 玄武岩質安山岩, A: 安山岩, D: デイサイト, R: 流紋岩, ol: かんらん石, px: 輝石, hbl: 普通角閃石, bt: 黒雲母, grt: ざくろ石。

も第3ステージに高マグネシア安山岩は産しない。

次に、ステージ区分の不明な地域での火山岩類を全岩組成にもとづいてステージに対比する。北域では信貴山、嶽山両地域、南域では高野、日高両地域の多くはカルクアルカリ系列に属し、 $FeO^*/MgO = 1$ のライン近くにプロットされる。吉野地域では複合岩脈を除く単純岩脈の多くがカルクアルカリ系列である。それらの産出地点は小名(49)、中黒(50)、小栗栖(51)、楨尾(67)、大天井ヶ岳(68)、千本谷(71)、稻村ヶ岳(72)である。このほか、井光川(62)は $SiO_2 = 65.73$ wt.%のデイサイトで、 $FeO^*/MgO = 1.53$ のカルクアルカリ系列に属する。これらの多くは灰色～灰白色で無斑晶質な岩相を示す点で類似する(小名を除く)。これらの中で、千本谷(71)は $FeO^*/MgO = 0.68$ を示す高マグネシア安山岩にプロットされる。よって、吉野地域ではソレイト系列の複合岩脈とともに、カルクアルカリ系列、一部に高マグネシア安山岩を産すると考えられる。また、井光川(62)デイサイトは火砕岩岩脈に貫入、または、捕獲されることから大台-室生テフラに先行すると推定される。よって、吉野地域のカルクアルカリ系列の火山岩は第2ステージに対比される可能性があると考えられる。

5. ステージ進行と活動地域の変化

第1から第3ステージに対応して火山岩の岩石種と全岩化学組成に変化が認められる(図14)。また、ステージの進行とともにマグマ活動の地理的範囲にも変化が認められる。第1ステージは二上山地域と信貴山・嶽山両地域の一部(10, 37など)での活動である。第2ステージは信貴山地域の北端(1, 2)から、二上山・嶽山の両地域、吉野地域の一部、高野地域を経て日高地域の南端(95)までの広域に認められる。第3ステージは奈良春日山と吉野の両地域に限られ、ソレイト系列の玄武岩、玄武岩質安山岩マグマの活動で特徴づけられる。加えて、吉野地域では複合岩脈を構成する流紋岩質マグマも活動したと考えられる。

こうしたことから、対象地域における中期中新世の火成活動は、時系列的にその地理的範囲とマグマの性質を変化させていった可能性が高いと考えられる。とくに、吉野地域における火成活動は、カルクアルカリ系列の火山岩類を噴出した第2ステージから、大台カルデラ火山での巨大噴火による大台-室生テフラの噴出を経て、ソレイト系列の火山岩類で特徴づけられる第3ステージへと変化したと考えられる。新正ほか(2007)は吉野地域の複合岩脈と瀬戸内火山岩類の珪長質火成岩の化学組成の違いがマグマの生成深度に依存した可能性を述べている。本報告でこれに加えて、時間経過を考慮したマグマ生成条件の検討も必要と思われることを示した。

謝辞

著者は大阪市立大学(現・大阪公立大学)理学研究科博士課程在学時および同科に研究生として在籍時に、本稿に掲載した火成岩類の全岩化学組成分析を行った。その際、古山勝彦先生(大阪市立大学)と柵山徹也先生(大阪公立大学)にはそれぞれ丁寧なご指導を頂いた。横尾真一氏には学士論文データの公表許可を頂いた。奥田 尚氏、茅原芳正氏、竹内靖夫氏、谷口純造氏、中屋志津男氏、山本俊哉氏および和田穰隆氏(奈良教育大学)には、調査地域を案内していただいた。また、研究内容について議論する機会をいただいた。斎藤伊平氏には英文の校閲をして頂いた。三浦大助氏(大阪公立大学)と匿名査読者には丁寧な査読コメントを頂いた。編集委員の前川 匠氏から適切な助言を頂いた。高円山玄武岩の採取にあたっては、土地所有者の中田武文氏(奈良市在住)に許諾を頂き、自然公園法の規定にもとづいて大和青垣国定公園特別地域(特別保護地区)内での採取許可を得た。お世話になったみなさまに感謝申し上げます。

引用文献

- 荒牧重雄・羽田 忍 1965. 熊野酸性火成岩類の中部および南部の地質. 地質学雑誌71(841): 494-512.
Carmichael, I.S.E., Turner, F.J. and Verhoogen, J. 1974. Igneous petrology. McGraw-Hill, US, pp.1-10.
檀原 徹・星 博幸・岩野英樹・山下 透・三田 勲 2007. 中期中新世テフラの広域対比: 房総半島Kn-1凝灰岩と紀伊半島室生火砕流堆積物. 地質学雑誌113(7): 384-389.

- 藤田 崇 1967. 亀の瀬地すべりの研究 (3) 亀の瀬地域の地質について. 地すべり4(1): 29-38.
- 古山勝彦 2009. 4.3 新生代火成作用 4.3.1 概説. 日本地質学会 (編著) 日本地方地質誌 5 近畿地方, 朝倉書店, 東京, pp. 264-266.
- 星 博幸・岩野英樹・檀原 徹 2002. 瀬戸内火山岩類のフィッション・トラック年代測定: 近畿地方, 二上層群の例. 地質学雑誌108(6): 353-365.
- 星 博幸・岩野英樹・檀原 徹・吉田武義 2003. 紀伊半島, 潮岬火成複合岩類のフィッション. トラック年代測定. 地質学雑誌109(3): 139-150.
- 岩野英樹・檀原 徹・星 博幸・川上 裕・角井朝昭・新正裕尚・和田穰隆 2007. ジルコンのフィッション・トラック年代と特徴からみた室生火砕流堆積物と熊野酸性岩類の同時性と類似性. 地質学雑誌113(7): 326-339.
- 笠間太郎 1959. 西宮の自然の災害. 西宮市史 西宮市, 1: 150-173.
- Kawakami, Y., Hoshi, H. and Yamaguchi, Y. 2007. Mechanism of caldera collapse and resurgence: Observations from the northern part of the Kumano Acidic Rocks, Kii peninsula, southwest Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 167(1-4): 191-208.
- Kawasaki, M. 1980. Omine Acid Rocks, Kii Peninsula - Geology and Major Element Chemistry. *Journal of the Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists* 75(3): 81-101.
- 紀州四万十団体研究グループ (編著) 2012. 紀伊半島四万十帯 (四万十付加体) 20万分の1地質図. 地団研専報 (59): 付図.
- 粉川昭平 1954. 奈良三笠山附近の地質: 特に火山活動の年代について. 地質学雑誌60(710): 487-493.
- Koto, B. 1916. On the volcanoes of Japan V. *The Journal of the Geological Society of Japan* 23(279): 95-127.
- 工藤 崇・檀原 徹・岩野英樹・山下 透・三輪美智子・平松 力・柳沢幸夫 2011. 新潟堆積盆七谷層中に見つかった中期中新世広域テフラ: Kbi テフラと紀伊半島室生火砕流堆積物の対比. 地質学雑誌117(5): 277-288.
- 久野 久 1954. 火山及び火山岩. 岩波書店, 東京, pp. 91-93.
- Large, R. R., Gemmell, J. R. Paulick, H. and Huston, D. L. 2001. The alteration box plot: A simple approach to understanding the relationship between alteration mineralogy and litho-geochemistry associated with volcanic-hosted massive sulfide deposits. *Economic Geology* 96(5): 957-971.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B. and IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27(3): 745-750.
- 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. 東京大学出版会, 東京, pp. 11-13.
- Miura, D. 1999. Arcuate pyroclastic conduits, ring faults, and coherent floor at Kumano caldera, southwest Honshu, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 92(3-4): 300-319.
- 宮地良典・田結庄良昭・吉川敏之・寒川 旭 1998. 大阪東南部地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 113pp.
- 三宅康幸 1981. 和歌山県潮岬火成複合岩体の地質と岩石. 地質学雑誌87(6): 383-403.
- Miyake, Y. 1985. MORB-like tholeiites formed within the Miocene forearc basin, Southwest Japan. *Lithos* 18: 321-355.
- 三宅康幸 1985. 瀬戸内以南の中新世の中～塩基性岩の組成変異. 地団研専報 (29): 153-164.
- Miyashiro, A. 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American journal of science* (274): 535-557.
- Miyashiro, A. 1975. Classification, characteristic, and origin of ophiolites. *Journal of Geology* 83(2): 249-281.
- Miyashiro, A. 1978. Nature of alkalic volcanic rock series. *Contributions to Mineralogy and Petrology* (66): 91-104.
- 森本良平・藤田和夫・吉田博直・松本 隆・市原 実・笠間太郎 1953. 二上山の地質. 地球科学 (11): 1-12.
- Morimoto, R., Hujita, K. and Kasama, T. 1957. Cenozoic volcanism in southwestern Japan with special reference to the history of the Setouchi geologic province. *Bulletin of the Earthquake Research Institute Tokyo University* 35(1): 35-45.

- 村田 守 1982. 紀伊半島中部, 大峯地域のSタイプおよびIタイプ花崗岩質岩. 岩石鉱物鉱床学会誌 77(8): 267-277
- 村田 守 1984. 紀伊半島中部大峯地域のSタイプおよびIタイプ花崗岩質岩の岩石学. 岩石鉱物鉱床学会誌 79(9): 351-369.
- 室生団体研究グループ・八尾 昭 2008. 室生火砕流堆積物の給源火山. 地球科学 62(2): 97-108.
- 中島 隆・小泉尚嗣・下司信夫・及川輝樹・新正裕尚・三浦大助・角井朝昭・重松紀生・北川有一 2010. 熊野井内浦掘削コアから推測する中期中新世熊野酸性岩北岩体の垂直構造と定置過程. 地質学雑誌116(7): 374-387.
- 二上山地質研究会 1986. 二上層群の原川累層・定ヶ城累層の層序とサヌキトイドの活動時期. 地球科学 40(2): 89-101.
- 西岡芳晴・尾崎正紀・山元孝広・川邊孝幸 1998. 名張地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 72pp.
- Peccerillo, A. and Taylor, S. R. 1976. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* (58): 63-81.
- 佐藤博明 1981. 日本列島周辺の高マグネシア安山岩類. 月刊地球3(3): 181-187.
- 佐藤隆春 1985. 大阪周辺から和歌山市東方に分布する新第三紀火山岩類. 地団研専報(29): 143-151.
- 佐藤隆春 2009. 4.3.3 瀬戸内地域の火山活動 b. 甲山, 信貴山, 畝傍山, 嶽山などの火山岩類. 日本地質学会編, 日本地方地質誌5 近畿地方. 朝倉書店, 東京, pp. 276-278.
- 佐藤隆春・茅原芳正 1993. 酸化変質した黒雲母と新鮮な黒雲母を含むデイサイト溶岩: 二上層群寺山デイサイトマグマの酸素フュガシティー. 岩石鉱物鉱床学会誌 88(7): 339-351.
- 佐藤隆春・大和峯研究グループ 2006. 大峯・大台コールドロン: 紀伊山地中央部にみられる弧状および半円形の断層・岩脈群と陥没構造. 地球科学 60(5): 403-413.
- 佐藤隆春・和田穰隆・中条武司・鈴木桂子 2013. 奈良市街地東部に分布する中部中新統の層序の再検討. 大阪市立自然史博物館研究報告(67): 27-44.
- 清家一馬 2016. 近畿南部, 和泉山脈で見つかった貫入アルカリ玄武岩について. 埼玉県立自然の博物館研究報告(10): 67-68.
- 志井田 功・荒木慶雄・藤田和夫・市原 実・笠間太郎・粉川昭平・梅田甲子郎・山田 純・山本 威 1960. 室生火山区の研究 - 特にその南部地域について -. 地質学雑誌 66(772): 1-16.
- Shimoda, G., Tatsumi, Y., Nohda, S., Ishizaka, K. and Jahn, B.M. 1998. Setouchi high-Mg andesites revisited: geochemical evidence for melting of subducting sediments. *Earth and Planetary Science Letters* (160): 237-255.
- 新正裕尚・岩野英樹・和田穰隆・折橋裕二・角井朝昭・檀原 徹 2010. 奈良盆地周縁部の玉手山凝灰岩・石仏凝灰岩の火山ガラスおよび全岩の化学組成. 地質学雑誌 116(8): 447-452.
- Shinjoe, H., Orihashi, Y., and Anma, R. 2021. U-Pb ages of Miocene neartrench granitic rocks of the Southwest Japan arc: implications for magmatism related to hot subduction. *Geological Magazine* (158): 47-71.
- 新正裕尚・折橋裕二・角井朝昭・中井俊一 2002. 室生火砕流堆積物の全岩組成: その給源への手掛かり. 岩石鉱物科学 31(6): 307-317.
- 新正裕尚・折橋裕二・和田穰隆・角井朝昭・中井俊一 2007. 紀伊半島中新世珪長質火成岩類の全岩組成の広域的变化. 地質学雑誌 113(7): 310-325.
- 新正裕尚・和田穰隆・折橋裕二・角井朝昭・中井俊一 2003. 岩脈中の花こう岩質保有物のジルコン U-Pb 年代から推定される奈良県吉野地域の中央構造線南方に伏在する中新世花こう岩質岩体. 地質学雑誌 109(12): 689-696.
- 白木敬一 1989. 高マグネシア安山岩について. 白木敬一編, 日本の高マグネシア安山岩, 1986-88年度文部省科学研究費補助金総合研究(A), 「島弧における高マグネシア安山岩の地質学的岩石学的研究」研究成果報告書, 山口大学地質鉱物学教室, 山口, pp. 5-25.
- 角井朝昭・内海 茂・新正裕尚・下田 玄 1998. K-Ar法による熊野酸性火山岩類の年代の再検討. 地質学雑誌

104(6): 387-394.

- Takashima, R., Hoshi, H., Wada, Y. and Shinjoe, H. 2021. Identification of the source caldera for the Middle Miocene ash-flow tuffs in the Kii Peninsula based on apatite trace-element composition. *Island Arc* 30: e12404.
- 高島紫野・和田穰隆・新正裕尚 2010. 紀伊半島中央部、宮ノ谷複合岩脈の産状から推定されるマグマ混合及びカルデラとの関係. *地質学雑誌* 116(9): 496-509.
- Tatsumi, Y. 1981. Melting experiments on high-magnesian andesite. *Earth and Planetary Science Letters* (54): 357-365.
- 巽好幸 1981. 高マグネシウム安山岩の成因. *月刊地球* 3(3): 166-174.
- 巽好幸 2003. 安山岩と大陸の起源 ローカルからグローバルへ. 東京大学出版会, 東京, pp. 17-25.
- Tatsumi, Y., Ishikawa, N., Anno, K., Ishizaka, K. and Itaya, T. 2001. Tectonic setting of high-Mg andesite magmatism in the SW Japan arc: K-Ar chronology of the Setouchi volcanic belt. *Geophysical Journal International* 144(3): 625-631.
- Tatsumi, Y. and Ishizaka, K. 1981. Existence of andesitic primary magma; An example from southwest Japan. *Earth and Planetary Science Letters* 53(1): 50-71.
- Tatsumi, Y. and Ishizaka, K. 1982. Origin of high magnesian andesites in the Setouchi volcanic belt, southwest Japan, 1. Petrographical and chemical characteristics. *Earth and Planetary Science Letters* 60(2): 293-304.
- 千葉とき子 1965. 静岡県高草山地域のアルカリ岩について. *岩石鉱物鉱床学会誌* 54(1): 23-31.
- 和田穰隆 1999. 紀伊半島中央部に分布する岩脈のK-Ar年代. *奈良教育大学紀要* 48(2): 7-14.
- 和田穰隆 2009. 4.3.3 瀬戸内地域の火山活動 d. 火成岩脈. *日本地質学会編, 日本地方地質誌5 近畿地方*. 朝倉書店, 東京, pp. 278-279
- 和田穰隆・荒木美穂 1997. 高見山酸性火成岩-中央構造線上に分布するS-type花崗岩質岩-. *奈良教育大学紀要* 46(2): 1-15.
- 和田穰隆・安藤将史・東山岳広 2000. 紀伊半島中部, 奈良県川上村と吉野町に分布する岩脈の流動方向. *奈良教育大学紀要* 49(2): 47-57.
- 和田穰隆・藤田千夏・新正裕尚 2007. 紀伊半島中央部, 中期中新世宮滝岩脈: 火道内でのマグマ・ミングリングとその意義. *地質学雑誌* 113(7): 353-365.
- 和田穰隆・岩野英樹 2001. 紀伊半島中央部, 奈良県川上村中奥に分布する火砕岩(tuffite)岩脈. *火山* 46(3): 107-115.
- 和田穰隆・新正裕尚・高島紫野 2011. 奈良県川上村瀬戸および中奥付近に露出する複合岩脈. *奈良教育大学紀要* 60(2): 29-36.
- 山下透・檀原徹・岩野英樹・星博幸・川上裕・角井朝昭・新正裕尚・和田穰隆 2007. 紀伊半島北部の室生火砕流堆積物とその周辺に分布する凝灰岩の対比およびそれらの給源: 軽鉱物屈折率を用いたモード分析によるアプローチ. *地質学雑誌* 113(7): 340-352.
- 大和大峯研究グループ 2005. 紀伊山地中央部の中・古生界(その9): 辻堂・大峯・台高・国見山地域の再検討. *地球科学* 59(5): 287-300.
- 大和大峯研究グループ 2012a. 紀伊山地中央部の四万十帯. *地団研専報 紀伊半島における四万十付加体研究の新展開* (59): 15-23.
- 大和大峯研究グループ 2012b. 紀伊山地中央部における秩父帯と四万十帯の地質関係. *地団研専報 紀伊半島における四万十付加体研究の新展開* (59): 283-291.
- 山崎貞治・大貫仁 1969. 大阪府二上山地域におけるカルク・アルカリ岩系マグマの分化. *岩石鉱物鉱床学会誌* 62(2): 249-263.
- 横尾真一 1994. 二上山地域の岩石学的研究. 東北大理学部岩石鉱物学科学士論文, 42pp.
- 横田修一郎・松岡数充・屋鋪増弘 1978. 信楽・大和高原の新生代層とそれにまつわる諸問題-信楽・大和高原のネオテクトニクス研究 その1. *地球科学* 32(3): 133-150.