

小田原市早川の石丁場群で発掘された矢穴石の岩石学的特徴

山下浩之・笠間友博

Hiroyuki Yamashita and Tomohiro Kasama:
Petrological Notes on Andesitic Dimension Stones with Chisel Pits,
called “Yaana-ishi”, from the Historic Site of Hayakawa Quarries,
Odawara, Kanagawa , Central Japan

Abstract: The andesitic dimension stones with chisel pits during quarrying process, called “Yaana-ishi”, are lithologically and petrologically described. They had been extracted from the historic open-cut mine of Hayakawa quarries, Odawara, Kanagawa Prefecture. They are identified as orthopyroxene-bearing basaltic andesite and SiO_2 content of their bulk composition ranges between 54.85 and 55.31wt.%. This shows that these rocks as lava flows can be correlated with the old somma lava termed OS2 or the later stratocone group of Hakone volcano. And the geochemical characteristics of them are similar to those of the Komekami lava group at southeastern part of Hakone volcano.

はじめに

小田原市早川の石垣山一夜城歴史公園の南西部にて、広域農道整備事業（小田原―湯河原線）の工事により、2005年に石丁場群の遺跡が発見された（図1）（三瓶ほか、2006）。この作業により発掘された、切石作業によって刻まれたと考えられる矢穴が残された石材を「矢穴石（やあないし）」と呼ぶ。

本論では、石丁場群で発掘された矢穴石の岩石学的・地球化学的特徴を報告する。また、周辺地域の溶岩との比較を行うことで、矢穴石の給源となった溶岩の推定もあわせて行う。矢穴石に使用された溶岩の岩石学的・地球化学的データは、箱根火山の地球科学の基礎データとして重要であることはもちろん、考古学的視点から石材の給源を解明するための有用な情報となりうる。

石丁場群周辺の地質と地形

早川石丁場群は、箱根登山鉄道入生田駅の南約1.2kmの標高180～250mに位置する。この場所は、白銀山から聖岳、石垣山に至る箱根古期外輪山のゆるやかな東斜面にあたる。早川石丁場群の北側には、関白沢と呼ばれる小沢がほぼ南西―北東方向に流れ、約500m北東で早川に合流する。この関白沢は、白銀山から石垣山に至る箱根古期外輪山の北側斜面を開析して、急峻な斜面を形成している。すなわち、早川石丁場群は、関白沢に

よって開析された急斜面上に分布している。

この地域の地質は久野（1972）による古期外輪山安山岩質溶岩・火山碎屑物（OS2）に区分されている（図2）。関白沢の北西側は、新期外輪山溶岩（YS3およびYS5）が露出し、関白沢はその境界にもなっている。久野（1972）によれば、古期外輪山の白銀山から聖岳の



図1. 矢穴石の発掘現場（小田原市早川の石丁場跡）。

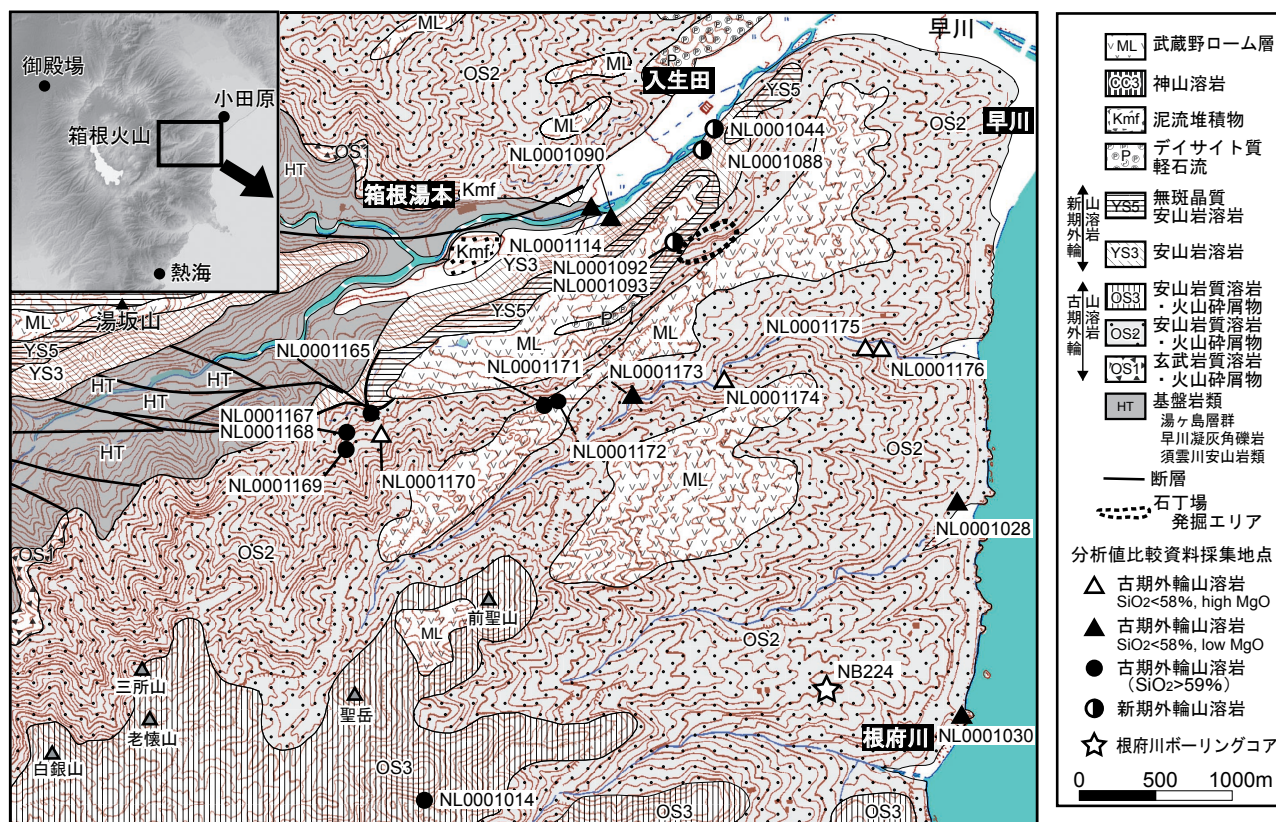


図2. 箱根火山南東部の地質図（神奈川県，1985 を改変）．図中の番号は矢穴石の比較試料を採集した地点の試料番号で「KPMNH-」を略してある．

南側には、OS2 よりも新しい活動の古期外輪山安山岩質溶岩・火山砕屑物（OS3）が分布する。久野（1972）の地質図から読み取ると、石丁場群周辺地域において、産出する可能性のある岩体は、古い順に OS2, OS3, YS3, YS5 ということになる。

近年、箱根火山古期外輪山は 1 つの巨大な成層火山ではなく、複数の中～小規模の成層火山の集合体であったという考え方が注目されている。平田（1999）は、久野（1972）の古期外輪山（OS2）の東斜面で 28 ～ 27 万年前に大規模な斜面崩壊が起こり、その後、27 ～ 18 万年前にかけてあらたな成層火山（白銀山溶岩類）を形成したと考えた。また、高橋ほか（1999）は、野外調査と溶岩の絶対年代および化学組成から、従来の古

期外輪山を噴出ステージと火山の形態によって前期成層火山、後期成層火山、前期単成火山群、中期単成火山群、後期単成火山群に再分類した。なお、高橋ほか（1999）による区分では、図 2 の OS2 が白銀山を中心とした後期成層火山に相当し、OS3 が中～後期単成火山群の噴出物に相当する。

本論での化学分析値の比較は、高橋ほか（1999）の区分に従う。

矢穴石の岩石学的記載

早川石丁場群で加工されていた矢穴石は、城の石垣に使用するために切り出していたものと考えられており、長辺 2 ～ 3m、縦横 1m 程度の巨大なものが多く見られ

表 1. 矢穴石および石丁場周辺の露頭より採集した安山岩類の偏光顕微鏡観察結果

	資料No.	斑晶						石基	備考
		pl	opx	cpx	mag	斑晶量	量比		
矢穴石	NL0001065	最大3mm, 柱状～短柱状で累帯構造双晶発達を持つ	最大1mm, 短柱状で反応縁を持つ	含まない	0.2mm 程度	20 ～25%	pl>>opx>mag	填間状組織 0.05～0.1mm の斜長石, 0.05～0.2mm の単斜輝石, 微小の不透明鉱物	
	NL0001066								
	NL0001067								
	NL0001068								やや変質
	NL0001069								
周辺の露頭から採取した安山岩類	NL0001094	最大0.2mm	最大0.2mm	最大0.2mm	微小	5%以下	pl>>opx>cpx	ハイアロオプテック	全岩分析していない
	NL0001095								
	NL0001096								
	NL0001070								
	NL0001097	最大0.2mm	最大0.2mm	最大0.2mm	微小	5%以下	pl>opx>cpx	ハイアロオプテック	全岩分析していない

pl: 斜長石, opx: 斜方輝石, cpx: 単斜輝石, mag: 磁鉄鉱

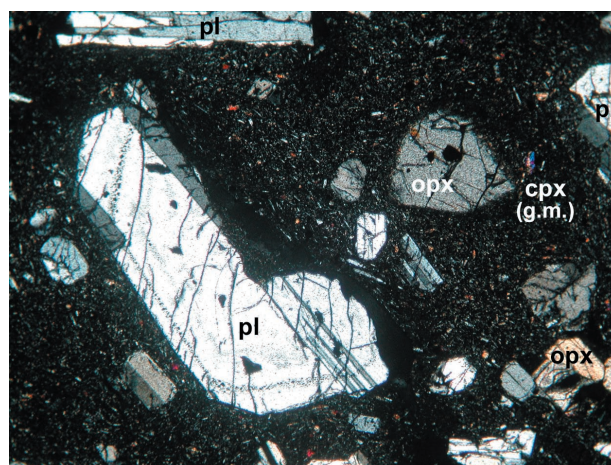
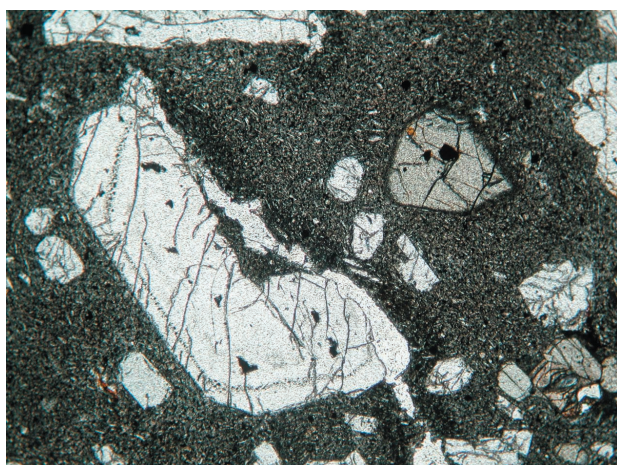


図 3. 矢穴石 (KPMNH-NL0001066) の偏光顕微鏡写真。左：開放ポーラー。右：直交ポーラー。スケールは写真の横が 3.5mm。pl：plagioclase (斜長石)，opx：orthopyroxene (斜方輝石)，cpx (g.m.)：clinopyroxene (単斜輝石)，g.m.：groundmass (石基)。

る。今回、かながわ考古学財団より提供された 5 試料 (KPMNH-NL0001065 ～ NL0001070；以後 KPMNH を略す) は、加工の際に原石から切り離された小さな切片と考えられる。また、比較試料として、石丁場群周辺のローム層の露頭より、安山岩レキをいくつか採集した (NL0001094 ～ NL0001097)。比較試料は、ローム層中に埋もれていたことから、ローム層形成時の転石もしくは二次堆積物の可能性もある。

矢穴石の偏光顕微鏡による観察結果を表 1 に示す。NL0001065 ～ NL0001069 は、ほぼ同じ岩石学的特

徴を呈する。斑晶鉱物は、最大 3mm、平均 2mm 程度の自形・柱状の斜長石、最大 1mm 程度の自形・短柱状の斜方輝石、微量の磁鉄鉱よりなる。斜方輝石の周辺部には反応縁が見られた。斑晶量は 25 ～ 30% 程度でやや多めである。石基は填間状組織 (intersertal texture) をしており、柱状の斜長石、0.05 ～ 0.1mm 程度の短柱状の単斜輝石、微小な磁鉄鉱からなる (図 3)。NL0001070 は、斑晶に斜方輝石が見られない以外は、NL0001065 ～ NL0001069 と同様の特徴であった。石丁場群周辺の露頭より採集した試料のう

表 2. 矢穴石および石丁場周辺の露頭より採集した安山岩類の全岩分析値

NO.	矢 穴 石					周辺の露頭から採取した安山岩類			
	NL0001065	NL0001066	NL0001067	NL0001068	NL0001069	NL0001070	NL0001094	NL0001095	NL0001096
主要元素 (wt.%)									
SiO ₂	55.08	55.20	54.85	55.31	54.82	52.39	55.25	54.90	59.37
TiO ₂	0.95	0.95	0.93	0.98	1.02	0.93	0.94	0.92	0.84
Al ₂ O ₃	19.22	19.04	19.13	19.30	20.51	21.93	18.91	19.86	18.09
Fe ₂ O ₃	9.61	9.64	9.57	9.80	10.14	9.08	9.78	9.02	8.26
MnO	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.14	0.16	0.14	0.15
MgO	2.71	2.67	2.66	2.66	2.76	2.70	2.74	2.63	2.06
CaO	9.37	9.39	9.46	8.88	8.56	10.25	9.13	9.41	7.33
Na ₂ O	2.71	2.75	2.73	2.66	2.41	2.45	2.74	2.72	3.04
K ₂ O	0.57	0.59	0.58	0.61	0.26	0.35	0.58	0.57	0.86
P ₂ O ₅	0.14	0.14	0.14	0.14	0.10	0.14	0.14	0.14	0.15
total	100.50	100.54	100.22	100.52	100.74	100.35	100.37	100.31	100.14
微量元素 (ppm)									
Ba	168	165	164	175	175	130	160	156	214
Ce	4.6	13	7.6	8.8	8.6	9.0	7.1	15	12
Cr	18	17	18	18	19	21	19	20	13
Nb	2.2	1.8	2.1	2.0	1.7	1.8	1.6	1.9	2.1
Ni	2.9	1.2	1.0	n.d.	1.3	1.5	n.d.	1.6	n.d.
Rb	10	11	11	11	7.2	8.8	8.8	8.6	12
Sr	274	274	279	276	298	331	228	271	239
Th	0.2	0.8	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.8	0.7
V	244	237	240	247	255	230	235	220	174
Y	24	24	25	26	22	24	21	21	25
Zn	77	74	76	75	79	71	75	70	74
Zr	66	66	66	67	70	70	57	60	69

n.d. = not detected

ち、NL0001094 と NL0001095 も NL0001065 ～ NL0001069 と同様の特徴が見られた。NL0001096 は NL0001065 ～ NL0001069 の特徴に加えて、単斜輝石を斑晶に持つこと、石基の単斜輝石の割合が低いことで特徴付けられる。後述する化学組成にも違いが見られた。NL0001097 は無斑晶質で、ごくわずかに 0.2mm 程度の柱状の斜長石、0.2mm 程度の短柱状の単斜輝石及び斜方輝石と微小の磁鉄鉱が見られた。石基はハイアロオプティック組織 (hyaloophitic texture) で、流理構造が見られた。岩石学的特徴からは、久野 (1972) による無斑晶質安山岩 (YS5) に相当すると思われる。この試料については全岩化学分析を行っていない。

矢穴石の全岩化学分析

矢穴石の全岩化学分析値を表 2 に示す。全岩化学分析は神奈川県立生命の星・地球博物館設置の蛍光 X 線分析装置 (XRF) (島津製作所 XRF-1500) を用いた。また、全岩化学分析のうち、主要元素の分析方法については、小出ほか (2000) に従った。

矢穴石のうち NL0001065 ～ NL0001068 と石丁場群周辺の露頭から採取した NL0001094・NL0001095 の計 6 試料は、主要元素および微量元素ともほぼ同様の化学組成であった。SiO₂ 含有量が 54.85 ～ 55.31wt.% であることから、玄武岩質安山岩もしくは玄武岩質安山岩と安山岩の境界領域の化学組成を持つ。NL0001069 は、主要元素の含有量については NL0001065 ～ NL0001068・NL0001094・NL0001095 の 6 試料と類似するが、K₂O および Rb の含有量がやや低い。NL0001070 の SiO₂ 含有量は 52.39wt.% とやや低く、玄武岩と玄武岩質安山岩の中間の化学組成を持つ。NL0001096 は SiO₂ 含有量が 59.37wt.% とやや高く、また、K₂O や Ba、Rb などの LIL 元素もやや高いことで特徴づけられる。

矢穴石の給源となった溶岩

矢穴石および周辺の露頭より採集した安山岩類は、岩石学的・地球化学的に以下の 3 種類に区分される。

1. 斑晶鉱物に斜方輝石を含み単斜輝石を含まない、玄武岩質安山岩と安山岩の中間的な組成のタイプ (NL0001065 ～ NL0001068・NL0001094・NL0001095)。なお、NL0001069 については、K₂O と Rb の含有量がやや低い、これはこの試料が変質されているためと考えられるので、同タイプとみなした。
2. 斑晶鉱物に輝石類を含まず、SiO₂ 含有量が低い NL0001070 のタイプ。
3. 斑晶鉱物に単斜輝石と斜方輝石を含み、SiO₂ および LIL 元素の含有量が高い NL0001096 のタイプ。

このうち、矢穴石に多く見られる、斑晶鉱物に斜方輝石を含み単斜輝石を含まない、玄武岩質安山岩

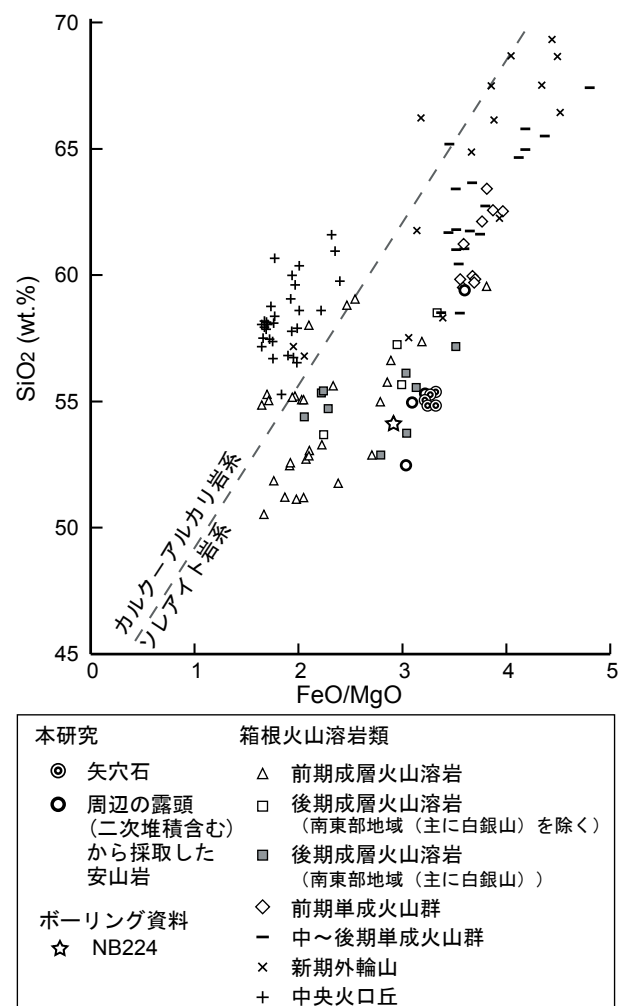


図 4. 箱根火山溶岩類および矢穴石の FeO/MgO-SiO₂ プロット図。比較に用いた箱根火山溶岩類のデータは山下 (未公表)。ボーリングコア試料 (NB224) は平田ほか (2001) による。ソレライト系列とカルクアルカリ系列の領域は Miyashiro (1974) による。

と安山岩の中間的な組成のタイプ (NL0001065 ～ NL0001069・NL0001094・NL0001095) を中心に、その給源の推定を行なう。

矢穴石は長辺 2 ～ 3m、縦横 1m 程度とかなり巨大であるため、江戸時代以前にこれほど巨大な石を他地域からわざわざ早川石丁場まで持ち込んだとは考えにくい。しかし、念のため、箱根火山全域に産出する溶岩類との比較を試みた (図 4)。比較は、矢穴石と早川石丁場周辺の露頭から採取した試料、高橋ほか (1999) の前期成層火山溶岩、後期成層火山溶岩、前期単成火山群溶岩、中～後期単成火山群溶岩、新期外輪山溶岩、中央火口丘溶岩に相当する試料で行なった。なお、後期成層火山溶岩は、箱根火山南東部の白銀山に東～南東に分布するものと、それ以外のものとに分けて比較を行った。さらに、早川石切丁場の南方約 3km の小田原市根府川で掘削された 1500m のボーリングコア試料 (平田ほか, 2001) の中の、深度 224m (海拔 - 39m) の溶岩 (試料名: NB224) とも比較を行なった。

中央火口丘溶岩は、そのほとんどがカルクアルカ

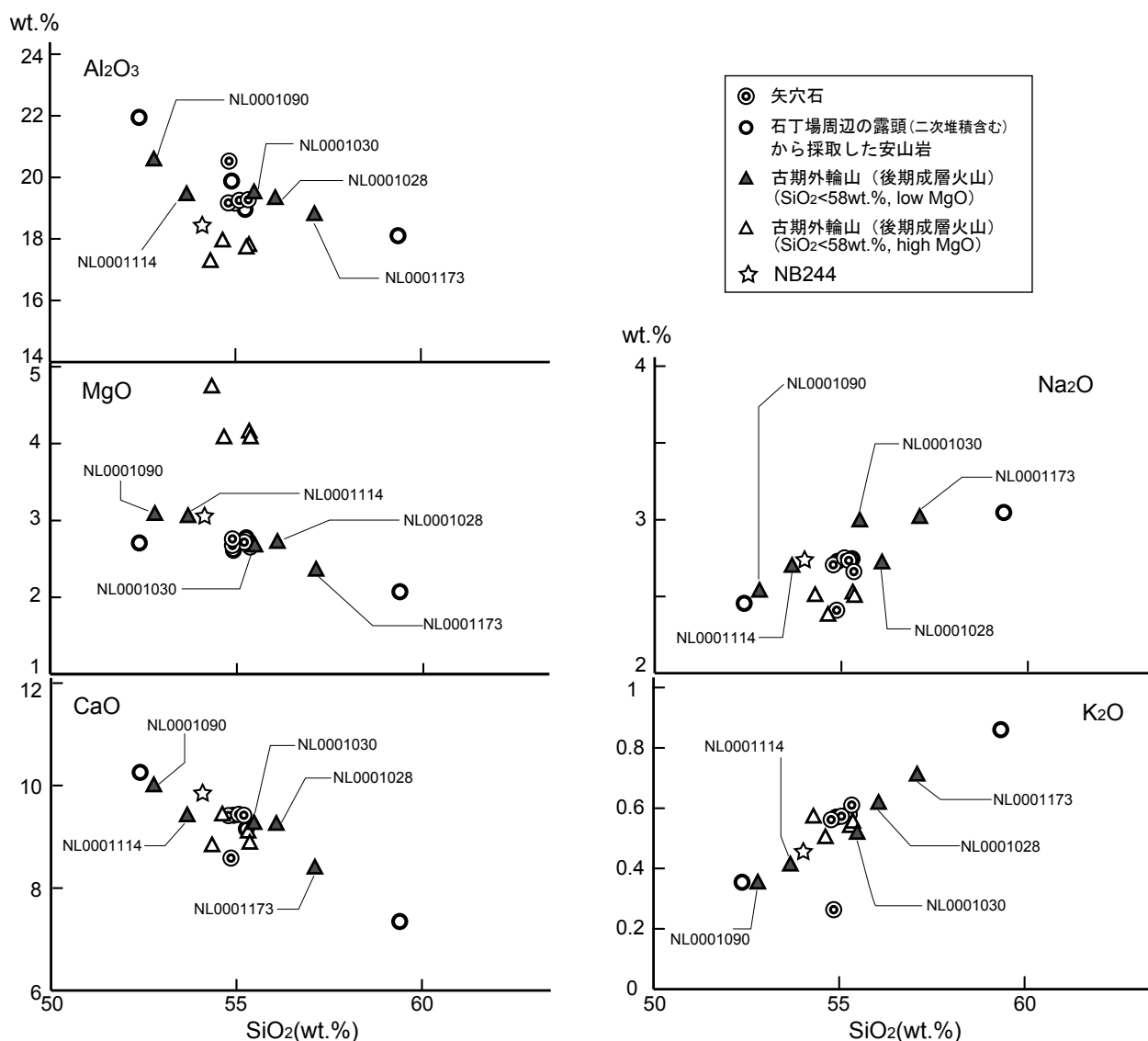


図5. 矢穴石と箱根火山南東部を構成する後期成層火山溶岩のバリエーションダイアグラム。図中の番号は図2の試料採集地点と一致する。

リ岩系に属しており、矢穴石と異なる領域にプロットされる。そのため、中央火口丘溶岩が給源である可能性は考えられない。新期外輪山溶岩は SiO_2 含有量が最低でも 57wt.% と高く、矢穴石の SiO_2 含有量と異なるため、給源である可能性が低い。同様に前期単成火山群溶岩および中～後期単成火山群溶岩も SiO_2 含有量が高く、矢穴石とは異なる化学組成であると言える。ただし、NL0001096 については、中～後期単成火山群溶岩の組成と似ている。前期成層火山溶岩は、矢穴石の組成よりもやや SiO_2 含有量が低く、また FeO/MgO 比も低い。このことから、矢穴石の組成とはやや異なると思われる。後期成層火山溶岩はいずれも近い組成を示すが、いくぶん古期外輪山南東部の溶岩のほうが矢穴石の組成に近いと言える。従って、矢穴石の給源は、後期成層火山の古期外輪山南東部起源の溶岩であると考えられる。また、NB224 の組成も近い位置にプロットされる。

図2の地質図に、矢穴石と比較するための試料の採集地点を示した。矢穴石の SiO_2 含有量は 54.85 ～

55.31wt.% であることから、 SiO_2 含有量が 59wt.% を超える試料（図2の黒丸）は除外される。また、YS3 に相当する試料は SiO_2 含有量が 57wt.% 程度であることから、カルクーアルカリ岩系であることから除外される。さらに YS5 に相当する試料は、 SiO_2 含有量が 65wt.% を超えるためにこちらも除外される。従って、矢穴石に対比される試料は、図2中の白および黒の三角で示される、 SiO_2 含有量が 58wt.% 以下の古期外輪山溶岩（後期成層火山溶岩）と、NB224 が該当する。

これらの試料について、 SiO_2 に対して Al_2O_3 および MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O の含有量を比較したものが図5である。 TiO_2 、 MnO 、 P_2O_5 についてはあまり違いが見られないので今回は割愛した。

白銀山北東部に分布する古期外輪山溶岩（後期成層火山溶岩）は、 SiO_2 が 53 ～ 57wt.% に対して MgO 含有量が高いもの（4 ～ 5wt.%）と低いもの（2 ～ 3wt.%）とに顕著に二分される。この特徴は、図2の白銀山北東部に分布する古期外輪山溶岩（後期成層火山溶岩）の

中で、比較的下位の層準に相当する溶岩の MgO 含有量は低く、逆に上位の層準に相当する溶岩の MgO 含有量は高い傾向にあるように見える。NB224 は、海拔下 50m 付近の試料で、白銀山山体の下部に相当する比較的初期の溶岩と考えられ、MgO 含有量が低い方に区分される。なお、MgO の高いものは Al_2O_3 および Na_2O がやや低い傾向にある。ただし、これらの傾向については、分析点数が少ないため今後更なる分析が必要とされる。

NL0001090 および NL0001114 は地質図上で新期外輪山溶岩(YS)もしくは早川凝灰角礫岩(HT)に相当する。しかし、地質調査から NL0001090 は YS の下位、すなわち古期外輪山溶岩相当層（高橋ほか，1999 の後期成層火山）に、NL0001114 は早川凝灰角礫岩の上位の古期外輪山溶岩相当層（高橋ほか，1999 の後期成層火山）とした。

矢穴石は、MgO 含有量が低いタイプに分類され、最も化学組成の近いものは、NL0001028 と NL0001030 である。なお、MgO 以外の主要元素および微量元素に関しても、NL0001028 と NL0001030 の組成が矢穴石と最も類似した（図 5）。また、NB224 の組成ともかなり近いと考えられる。

長井ほか（2006）は、白銀山東部の山体を、地質調査と岩石学的特徴および地球化学的特徴から 12 の溶岩に区分した。このうち、矢穴石と同程度の SiO_2 含有量を持つ岩体は、米神溶岩グループ、根府川下部溶岩グループ、大猿山溶岩グループの 3 岩体であった。この中で、米神溶岩グループはこの地域における比較的初期の活動（0.3 ～ 0.25Ma）であり、その分布は小田原市石橋から江之浦にわたる比較的広い範囲で、12 の溶岩の中で最も北にあたる。矢穴石と最も化学組成の近い NL0001028 と NL0001030 は、米神溶岩グループ（長井ほか，2006）の分布域に相当する。長井ほか（2006）では、箱根火山南東部の各岩体について、バリエーションダイアグラム及び $\text{FeO}/\text{MgO} - \text{SiO}_2$ 図（都城図）で主要元素の比較を行っているが、これらの図と今回の矢穴石の化学組成を対比したところ、すべての主要元素で一致した。このことから、矢穴石は米神溶岩グループ（長井ほか，2006）に相当すると考えられる。

まとめ

2005 年に早川石丁場において発掘された、矢穴が残された石材（矢穴石）の岩質は、 SiO_2 含有量が 54.85 ～ 55.31wt.% の斜方輝石玄武岩質安山岩である。矢穴石の給源となった溶岩は、全岩化学組成の検討から、久

野（1972）の古期外輪山溶岩（OS2）もしくは高橋ほか（1999）の後期成層火山溶岩に相当する。さらに、長井ほか（2006）による箱根古期外輪山東部の溶岩との対比では、箱根火山南東部における比較的初期の火山活動である米神溶岩グループと最も類似した化学組成であることが判明した。

謝 辞

三瓶裕司氏をはじめとするかながわ考古学財団の方々には、現地調査の協力および試料の提供をして頂いた。日本大学文理学部自然史研究所の長井雅史氏には箱根火山の溶岩類の全岩組成についての助言を頂いた。神奈川県温泉地学研究所の萬年一剛氏には野外調査に同行して頂き、助言を頂いた。神奈川県立生命の星・地球博物館ボランティアの野村平二氏、入江和夫氏、新藤誠一郎氏、蛭子貞二氏、富田道恵氏、深沢良子氏、永井たまき氏には、岩石プレパラートおよび岩石細粉作業のお手伝いを頂いた。以上の方々にお礼申し上げる。

引用文献

- 平田大二・山下浩之・萬年一剛・谷口英嗣，2001. 箱根火山の基盤岩に関する岩石学的研究．地学雑誌，**110**(3): 420-426.
- 平田由紀子，1999. 箱根火山の発達史．神奈川県博物館調査研報（自然科学），(9): 135-178.
- 神奈川県，1985. 土地分類基本調査 小田原・熱海・御殿場 5 万分の 1 国土調査．73pp. 神奈川県企画部企画調整室，横浜．
- 小出良幸・山下浩之・川手新一・平田大二，2000. 蛍光 X 線分析装置による岩石主要元素の分析精度の検証．神奈川県立博物館研究報告（自然科学），(29): 107-125.
- 久野 久，1972. 箱根火山地質図説明書―箱根火山および周辺地域の地質―．52pp. 大久保書店，東京．
- Miyashiro, A., 1974. Volcanic rock series in Island arc and continental. Am. J. Sci., **274**: 321-355.
- 長井雅史・高橋正樹・箱根団体研究グループ，2006. 箱根火山南東麓の地質（その 4）―溶岩類の全岩化学組成と層序―．関東の四紀，(27): 3-29.
- 高橋正樹・長井雅史・内藤昌平・中村直子，1999. 箱根火山の形成史と広域テクトニクス場．月刊地球，**21**(7): 437-445.

電子文献

- 三瓶裕司・依田亮一・新開基史，2006. 神奈川県小田原市（仮）早川石丁場群の調査．江戸遺跡研究会 e 会報．Online. Available from internet: <http://ao.jpn.org/edo/cyber/2006/edk106-2.pdf> (downloaded on 2006-09-13).

（神奈川県立生命の星・地球博物館）