

箱根火山の基盤岩に関する岩石学的研究

深層ボーリングコアを材料に

平田大二* 山下浩之* 萬年一剛** 谷口英嗣***

Lithological Characteristics of the Basement of Hakone Volcano: Using of the Deep Drilling Core Sample

Daiji HIRATA *, Hiroyuki YAMASHITA *, Kazutaka MANNEN ** and Hidetsugu TANIGUCHI ***

I. はじめに

伊豆 小笠原弧は伊豆半島から南硫黄島まで、南北に 1200 km にわたる未成熟な海洋性島弧であり、その北端部では本州弧へ衝突付加している。このような衝突付加現象は、大陸地殻の形成初期段階を表していると考えられ、注目されている。その中で、伊豆 小笠原弧の基盤を構成する地層の岩相や堆積様式、形成年代を詳しく検討することは、伊豆 小笠原弧の発達史を明らかにすることや海洋性島弧の初期の様子を知る上において重要である。

伊豆 小笠原弧の基盤岩類は、新第三紀に形成された主に火砕岩類からなる(坂本ほか, 1999 など)。陸域で見られる代表的なものは、丹沢山地の丹沢層群や、伊豆半島の湯ヶ島層群である。これらは、新第三紀から続く火成活動と島弧の衝突付加現象により陸化したものである。丹沢山地にみられる丹沢層群には、本州弧に衝突した後、隆起・浸食されたため、地下深部の情報が残されていない。また、伊豆半島の湯ヶ島層群は第四紀の火山に覆われて分布が限定され、かつ変質が激しく、地質調査に限界がある。伊豆 小笠原弧の大部分を占め

る海域では、伊豆諸島のように火山フロントに沿っていくつもの火山島の基盤を構成しているが、ほとんどが海底であるために調査は困難である。このように、現在地表での地質調査が可能な範囲では、基盤岩の形成から、その上に成長する火山体までを連続的に調査することは不可能である。

そこで著者らは、伊豆 小笠原弧一帯で行なわれた基盤岩まで達する深層ボーリングに注目し、基盤岩の形成からその上に成長する火山体までの連続的な調査を行なっている。既に、八丈島東山火山の深層ボーリングコアについて記載・報告を行なった(Hirata *et al.*, 1997)。

今回は、箱根火山南東山麓で行なわれた基盤岩まで達する深層ボーリングコア(掘削深度 1450 m)について、肉眼観察および岩石薄片と SEM による観察、岩石学的記載、XRF による全岩化学分析を行なったので、その概要を報告する。

なお、今回報告するボーリングコアのうち、深度 1200 m ~ 1450 m のオールコアは神奈川県立生命の星・地球博物館に、0 m ~ 1450 m までのスポットコアは神奈川県温泉地学研究所にそれぞれ保管されている。

* 神奈川県立生命の星・地球博物館

** 神奈川県温泉地学研究所

*** 駒沢大学高等学校

* Kanagawa Prefectural Museum of Natural History

** Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture

*** Komazawa University High School

II. 掘削地点周辺の地質概要

箱根地域から伊豆半島、伊豆諸島にかけては緑色に変質した火山岩および火山砕屑物からなる基盤岩類が広く認められる。新第三紀に形成されたものでは、伊豆半島では下位から湯ヶ島層群、白浜層群が分布する（小山，1988 など）。箱根地域では湯ヶ島層群、早川凝灰角礫岩が分布する（荒巻ほか，1972）。荒巻ほか（1972）は、岩相と層位関係から箱根地域の湯ヶ島層群を伊豆半島から続くものとした。

荒巻ほか（1972）は箱根地域の湯ヶ島層群と早川凝灰角礫岩の岩相について、以下のようにまとめている。湯ヶ島層群は、緑色から褐色の火山礫凝灰岩や凝灰角礫岩からなり、上部では火砕岩が多くみられる。岩石はすべてピジョン輝石質岩系に属する苦鉄質岩で、かんらん石玄武岩やかんらん石普通輝石玄武岩または安山岩、紫蘇輝石普通輝石安山岩からなる。変質を受けており、方解石や沸石、緑泥石がみられる。早川凝灰角礫岩は、主に緑灰色の凝灰角礫岩や火山礫凝灰岩からなり、デイサイト質の軽石凝灰岩を挟むことが特徴である。同層中にみられる溶岩および岩脈は、普通輝石紫蘇輝石デイサイトや輝石角閃石デイサイトからなる。また、火山角礫岩の本質火山礫は、普通輝石紫蘇輝石デイサイトからなる。さらに両層の関係について、早川凝灰角礫岩が湯ヶ島層群の上に傾斜不整合で重なるとした。時代については、湯ヶ島層群を前期中新世とし、早川凝灰角礫岩を貝化石から後期中新世から前期鮮新世とした。

その後、小山（1986）は伊豆半島に分布する湯ヶ島層群について、下部層ではCN3（前期中新世）を示すナノ化石、中部層ではCN4（中期中新世初期）を示すナノ化石の産出を報告している。また、上部層からは輝石安山岩のフィッシュトラック年代（9.1 Ma）が報告されている（金属鉱業事業団，1987）。

本稿で報告するボーリングコアは、箱根火山南東麓の小田原市根府川で掘削されたものである（図1）。この地域は、箱根古期外輪山溶岩（OS2）が厚く分布する（荒巻ほか，1972）。掘削地点の

北東を流れる、早川や須雲川の河床や谷筋には、箱根地域の基盤岩である湯ヶ島層群および早川凝灰角礫岩が分布することから、本地域においても、古期外輪山溶岩の下位にこれらの地層が基盤岩として分布することが推定される。

III. 岩石学的記載

今回のボーリングコアは、岩石学的特徴により区分される3つの岩相（岩相 ， ， ）の組合せにより構成されている。岩石学的特徴と、挟在する溶岩もしくはハイアロクラスタイト（B1～B6）から、本コアは13のサブユニットに区分でき、さらに大きく3つのユニットに区分できる（図2）。ここでは、岩石学的特徴から区分した3つの岩相について記載する。

岩相 は、安山岩の角礫と、安山岩質からデイサイト質の無斑晶質ラピリからなるもので、深度1216 m以深の砕屑岩で構成される。深度によって、安山岩の角礫が優勢な部分（図3 2）と、ラピリが優勢な部分（図3 1）がある。いずれの部分もタービダイトの堆積様式が確認できる。無斑晶質ラピリは、軽石および微結晶の斜長石の斑晶から構成される。ほとんどが数 mm～1 cm 程度で、青灰色から白色、あるいは肌色を呈し、丸みをおびる。まれに5 cmを超える大きなものも含まれる。安山岩の角礫は、ほとんどが数 mm 程度で、まれに1 cm 程度のものも含まれる。基質の部分は、破碎された無斑晶質ラピリである。しかし、変質により炭酸塩鉱物、粘土鉱物を生じているため、観察が難しい。いずれの岩相も、基質となるのは無斑晶質ラピリで、違いは安山岩の角礫の量比で生じる。無斑晶質ラピリは、岩相 に常に含まれることや破碎されていること、タービダイトの堆積様式を示すことなどから、遠方の火山から供給され続けた物質と考えられる。

岩相 は、玄武岩もしくは玄武岩質安山岩の溶岩とハイアロクラスタイトから構成される。溶岩は上方に向かうにつれ、ハイアロクラスタイトに漸移する傾向がある。溶岩は斑晶量が非常に多く、多孔質のものと緻密なものがある（図3 3）。斑晶は、ほとんどが斜長石（An96 88 程度）で、まれ

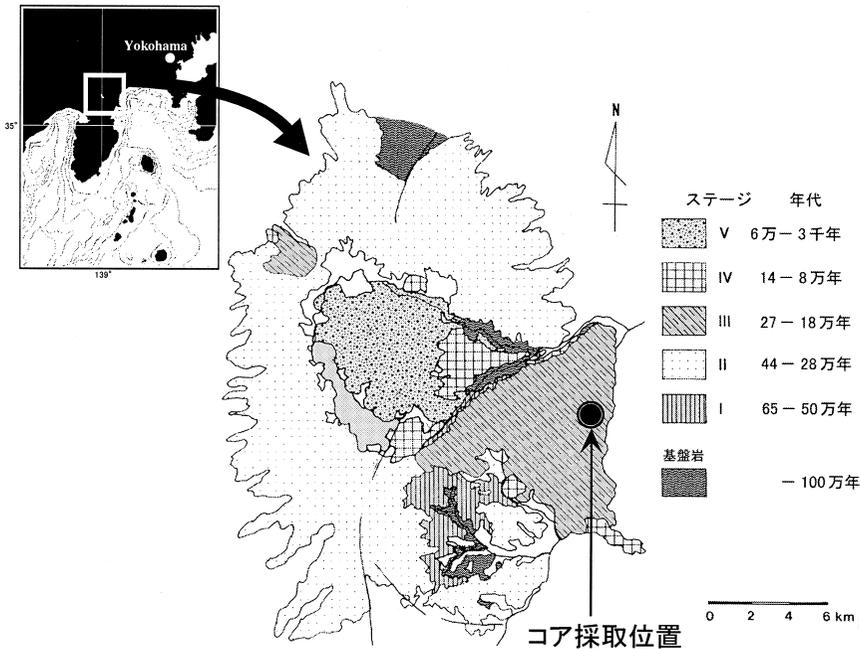


図 1 ボーリング位置図。
地質図のデータは Hirata (1996) より引用した。

に単斜輝石や斜方輝石，カンラン石を含む。斜長石は大きなものでは1 cm に達する。この岩相は，海底火山の噴出物により形成されたものと考えられる。

岩相は，コアの最上部で特徴的にみられ，凝灰質砂岩からなる（図3 4）。構成粒子は，斜長石とわずかに両輝石を含む安山岩，およびラピリである。基質は変質して緑泥石となっている。ラピリには，大気中の高温状態で酸化された赤色のものが含まれる。このラピリは，ごく浅海があるいは海面上の火山の噴出物と考えられる。

以上の岩相の組合せによって，下位より Unit（深度1450 m～1340 m），Unit（深度1340 m～1216 m），Unit（深度1216 m～1200 m）に区分できる。

IV. 全岩化学分析

深度1200 m～1450 mの間に挟在する6枚の溶岩もしくはハイアロクラスタイトについて，全岩化学分析を行なった（表1）。分析には東京大学海

洋研究所と神奈川県立生命の星・地球博物館のXRFを使用した。

いずれの岩体もSiO₂含有量は，48～55 wt%程度で，玄武岩から玄武岩質安山岩に相当する。MORBと比較して，低いK₂O含有量と高いAl₂O₃含有量で特徴づけられる。

SiO₂とK₂O，Al₂O₃，Fe/Mg，CaOとの関係をそれぞれ図4に示す。箱根地域の基盤岩である湯ヶ島層群や早川凝灰角礫岩中の溶岩などの分析値はほとんどないので比較できない。古期外輪山溶岩（万年，未公表）とコアのデータ（黒丸）を比較すると，ほとんどが古期外輪山溶岩の領域と一致しない。K₂O含有量が極めて高いサンプルは，CaO含有量が低い傾向にあり，変質の影響が考えられる。K₂O含有量が低いもので，SiO₂の減少に伴いAl₂O₃が増加するのは，灰長石の斑晶の量が影響していると考えられる。

図中の白丸（○）は，深度224mの試料である。この部分は，掘削深度が浅いことと古期外輪山溶岩の領域にプロットされることから，古期外輪山溶

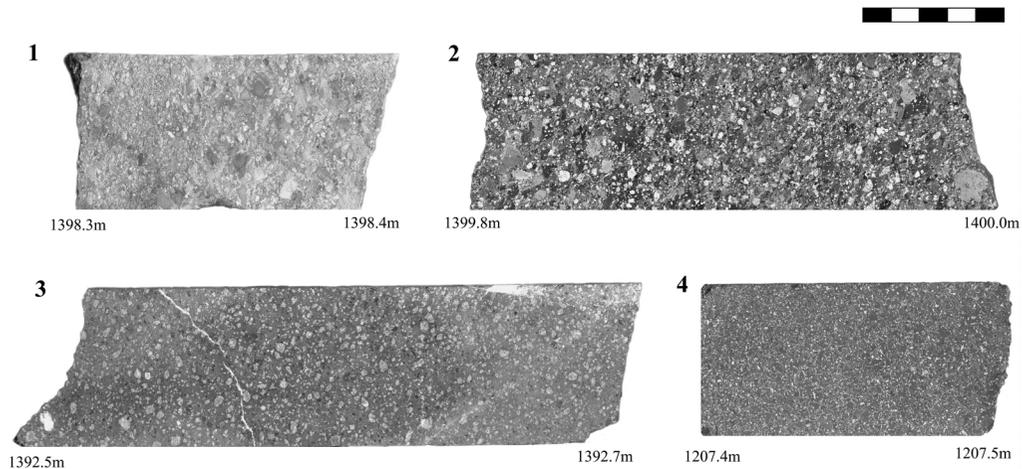


図 3 代表的な岩相を示すボーリングコア。
 1. 無斑晶質ラピリを多量に含む岩相。2. 安山岩の角礫を多量に含む岩相。
 3. 岩相の安山岩溶岩(図2中のB1に相当)。4. 岩相の凝灰質砂岩。

表 1 溶岩およびハイアロクラスタイトの蛍光 X 線分析値。

Depth	B6		B5		B4		B3		B2		B1	
	1223.2	1227.3	1229.5	1237	1242.6	1247.8	1260.8	1294	1300.2	1308	1392.6	1394.4
wt%												
SiO ₂	52.88	52.64	52.86	50.08	49.54	49.75	51.07	48.21	54.64	50.35	53.95	53.79
TiO ₂	1.19	1.24	1.22	0.88	0.91	1.05	0.96	1.05	0.83	0.88	0.77	0.86
Al ₂ O ₃	16.10	16.41	16.32	23.93	20.43	21.66	20.25	22.41	19.83	22.37	21.04	19.73
Fe ₂ O ₃	13.89	13.79	13.79	7.49	10.96	9.99	11.38	10.12	9.52	8.89	9.25	10.02
MnO	0.25	0.22	0.20	0.09	0.08	0.13	0.17	0.13	0.23	0.28	0.18	0.17
MgO	4.17	4.03	4.30	2.81	5.34	3.19	6.80	5.71	5.20	5.62	5.83	5.95
CaO	9.37	9.18	8.94	12.12	10.22	11.78	6.08	9.39	5.44	6.64	8.09	6.95
Na ₂ O	2.17	2.25	2.15	1.81	1.80	2.11	1.56	2.18	1.89	3.31	2.11	2.07
K ₂ O	0.07	0.15	0.22	n.d.	0.03	n.d.	1.36	0.27	2.17	0.91	0.13	0.08
P ₂ O ₅	0.11	0.11	0.09	0.12	0.07	0.09	0.07	0.10	0.12	0.18	0.12	0.10
Total	100.20	100.01	100.11	99.31	99.38	99.71	99.70	99.58	99.88	99.42	101.47	99.72
ppm												
Ba	19.8	18.0	27.8	3.0	n.d.	n.d.	32.5	2.2	94.0	64.5	n.d.	n.d.
Nb	n.d.	n.d.	n.d.	0.06	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.24	n.d.	n.d.
Ni	n.d.	n.d.	n.d.	1.02	1.08	1.44	2.43	0.99	0.05	n.d.	0.75	1.00
Pb	2.76	2.97	2.94	0.19	0.73	2.48	0.80	0.88	1.53	2.34	1.02	2.05
Rb	16.5	16.5	18.1	13.8	14.9	14.5	20.5	15.2	26.4	19.7	10.6	14.9
Sr	209	211	219	263	214	247	144	213	144	208	186	198
Th	n.d.	0.89	n.d.	0.17	0.53	n.d.	0.30	0.68	n.d.	0.24	1.38	0.39
Y	23.6	24.7	23.0	18.9	15.6	19.6	15.4	19.4	22.9	27.1	18.5	19.6
Zr	47.2	49.5	48.6	36.9	32.7	38.1	34.4	41.1	59.2	62.9	39.6	43.3

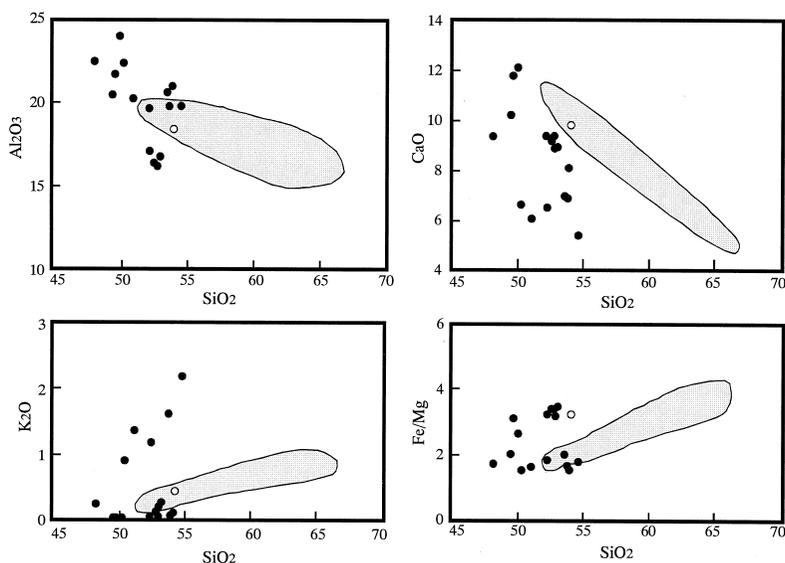


図 4 箱根古期外輪山溶岩と比較した，ボーリングコア中の溶岩のハーカー図．
 アミかけの部分が，萬年（未公表）による箱根古期外輪山のデータ．
 白丸（○）は，深度 224 m 地点の玄武岩質安山岩．

岩に相当すると考えられる。

V. 記載および分析結果からの推測

岩石学的特徴に基づく 3 つの岩相と，区分された 13 のサブユニットと 3 つのユニットから，stage 1, 2, 3 の 3 つの火山活動（図 2）が推測される。

最深部の stage 1（深度 1450 m ~ 1340 m）は，主に変質した岩相で構成される。このステージでは，遠方に安山岩質からデイサイト質の火山が存在し，噴出物を供給していた可能性がある。挟まれる 1 枚の薄い安山岩のハイアロクラスタイトは，この地域で火山活動が始まったことを意味する。stage 2（深度 1340 m ~ 1216 m）は，岩相 I と岩相 からなる。このステージでは，遠方にある安山岩質からデイサイト質の火山から噴出物が供給される場で，低 K₂O，高 Al₂O₃ 玄武岩の火山活動が活発になったと考えられる。stage 3（深度 1216 m ~ 1200 m）は，岩相 に相当する火山砂やラピリから構成される。このステージでは，海面上で酸化されたと考えられる赤色の岩片が含まれることと，浅海性の堆積様式を示すことから，

火山活動はごく浅海かあるいは陸化していた可能性がある。

stage 2 から stage 3 にかけては，海中噴出より始まった火山活動が，陸化してく様子を表していると考えられる。このことは，八丈島の深層ボーリングコア（Hirata *et al.*, 1997）が，海底火山から陸上の火山へ成長する様子と似ることから裏付けられる。

コア全体の岩相の特徴は，安山岩質からデイサイト質の火山砕屑物と，挟むする苦鉄質の玄武岩から玄武岩質安山岩溶岩である。また，一部は熱水変質が著しい。この特徴は箱根地域および伊豆半島に分布する湯ヶ島層群の岩相と似ている。

今後，この基盤岩の年代測定とラピリの全岩化学分析を行ない，その地質学的特徴を明らかにしていきたい。

謝 辞

本研究は著者ら以外に川手新一氏（武蔵高等学校），田口公則氏（神奈川県立生命の星・地球博物館），蛭子貞二氏との共同研究で行なっている。また，分析試料の作成および薄片の作成に関して，松沢親悟氏（神奈川県

温泉地学研究所), 小林真由美氏に協力していただいた。
ここに記して心からお礼申し上げます。

文 献

荒巻重雄・一色直記・大木靖衛・久城育夫編, 久野 久
著(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 . 大久保書店, 52 p.

Hirata, D., Yamashita, H., Taniguchi, H., Nishikawa,
T., Aoike, K., Suzui, M., Saito, N., Suga, K. and
Arima, M. (1997): Evolution of a volcanic edifice in
the Izu-Ogasawara (Bonin) arc: Lithological charac-
teristics of a 1500 meter core sample in Hachijo-
jima. *Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.)*, **26**,
57-88.

Hirata, Y. (1996): Geology and volcanic activity of
Hakone volcano, Japan. *IBM (Izu-Bonin-Mariana)*

Arc System Workshop. Program with Abstracts, 103
106.

金属鉱業事業団(1987): 広域地質調査報告書, 伊豆地域。
通産省エネルギー庁, 195p.

小山真人(1986): 伊豆半島の地史と足柄・大磯地域の更
新世. 月刊地球, **8**, 743-752.

小山真人(1988): 日本における学術ボーリング候補地 5
伊豆半島 過去と現在 . 月刊地球, **10**, 262-270.

坂本 泉・平田大二・藤岡換太郎(1999): 伊豆・小笠原
弧の基盤岩. 神奈川県博物館調査研報(自然科学), **9**,
21-39.

Taniguchi, H., Mannen, K., Yamashita, H., Kawate, S.
and Hirata, D. (2000): Basement of the northern
tip of the Izu-Ogasawara (Bonin) arc volcano:
Lithological characteristics of the 1450 meter core
sample in the Hakone volcano, Central Japan. *EOS,
Trans. AGU.*, **81** (48), Fall Meet. Suppl. F.1336,
2000.