

愛媛県砥部町の万年変質安山岩体に貫入する高マグネシア安山岩

High-magnesian andesite intruding the Mannen altered andesite in the Tobe Town, Ehime Prefecture, Japan

千葉悦子¹ 榊原正幸²

佐野 栄³

*Etsuko Chiba¹, Masayuki Sakakibara² and
Sakae Sano³*

¹愛媛大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, 2-5 Bunkyo-cho, Matsuyama 790-8577, Japan

²愛媛大学理学部地球科学科

Department of Earth Science, Faculty of Sciences, Ehime University, 2-5 Bunkyo-cho, Matsuyama 790-8577, Japan

³愛媛大学教育学部・地学

Earth Science Laboratory, Faculty of Education, Ehime University, 3 Bunkyo-cho, Matsuyama 790-8577, Japan

Abstract

Olivine-orthopyroxene-andesite in Tobe Town, Ehime Prefecture, Japan has been investigated based on geology and petrology. It intrudes into the Mannen altered andesite but it has not undergone hydrothermal alteration. The olivine-orthopyroxene-andesite contains Mg-rich olivine and orthopyroxene and Cr-rich chromite. It is a high-Mg andesite (HMA) based on petrography and bulk rock chemistry. From the effect of the hydrothermal alteration the age of the intrusion is inferred to be immediately after the hydrothermal alteration of the Mannen altered andesite.

Key words : Tobe Town, Miocene, Mannen altered andesite, olivine-orthopyroxene-andesite, high-Mg andesite, hydrothermal alteration

はじめに

瀬戸内火山帯とこの火山帯の存在を意義づけている新第三紀火山岩として、サヌキトイドが存在する。サヌキトイドはサヌカイトと成因関係にある安山岩質～玄武岩質火山岩の総称で、①サヌカイト、②角閃石、黒雲母、単斜輝石斑晶を含む古銅輝石安山岩、および③カンラン石を含む古銅輝石安山岩、に大別される(巽, 2003)。サヌキトイドの肉眼的特徴は、比較的斑晶に乏しく、斜長石斑晶を欠き、黒色緻密(発泡孔がない)かつ鋭利な断口を示す火山岩である。このうち、Mg/Fe比が異常に大きいという特徴を有する安山岩を高Mg安山岩(HMA)と総称している(Tatsumi & Ishizaka, 1981; Kelemen, 1995; 巽, 2003)。HMAマグマは沈み込む海洋地殻および堆積物の部分融解とそれに引き続くメルトーマントル相互作用によって形成されたと考えられている(巽, 2003)。

さて、千葉ほか(2005)および榊原ほか(2005a,

b)は、愛媛県砥部町に分布する熱水変質作用を受けて、Asを多量に含有する万年変質安山岩体について、地質調査および岩石学研究の成果を報告した。著者のうち、千葉は、その調査の過程で、万年安山岩体に貫入する高Mg安山岩岩脈を発見した。本論文では、発見された高Mg安山岩と周囲の変質安山岩の関係および火成岩岩石学に関する検討を行い、石鎚層群の安山岩類の熱水活動時期およびそれに引き続く高Mg安山岩の活動時期について考察した。

地質概説

調査地域は、愛媛県松山市から南方約20kmの伊予郡砥部町南部の万年地域周辺である(Fig. 1)。本地域には、基盤岩として三波川結晶片岩類および第三系久万層群の礫岩層が分布し、それらに多数の第三紀安山岩類が岩脈状もしくはパイプ状岩体として貫入している(中井ほか, 2003; 千葉ほか, 2004, 2005; 榊原ほか, 2003, 2005a, b)。

本研究の対象としている万年安山岩体は、国道379

号線沿いの万年から銚子ダム周辺にかけて分布する南北1.5km, 東西1kmのパイプ状貫入岩体である (Fig. 2)。万年安山岩体の原岩は斜方輝石安山岩であるが、その大部分が貫入後の熱水変質作用によって著しく変質している。同岩体はその変質の程度の違いによって、弱変質安山岩および強変質安山岩に区分さ

れる。弱変質安山岩は岩体北東部および南東部において、強変質安山岩は岩体北部から南部にかけて見出される。強変質安山岩は、珪化および粘土化の進んだ安山岩である。

土木工事における掘削によって地表に露出した岩体北部の万年変質安山岩の露頭において、カンラン

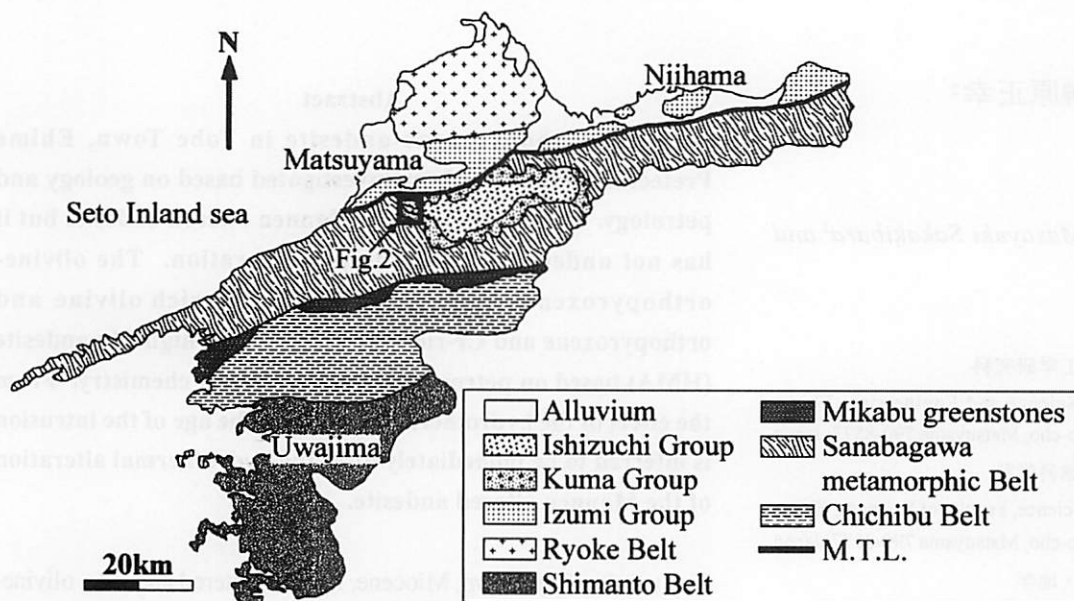


Fig. 1. Geologic division of Ehime Prefecture, Japan.

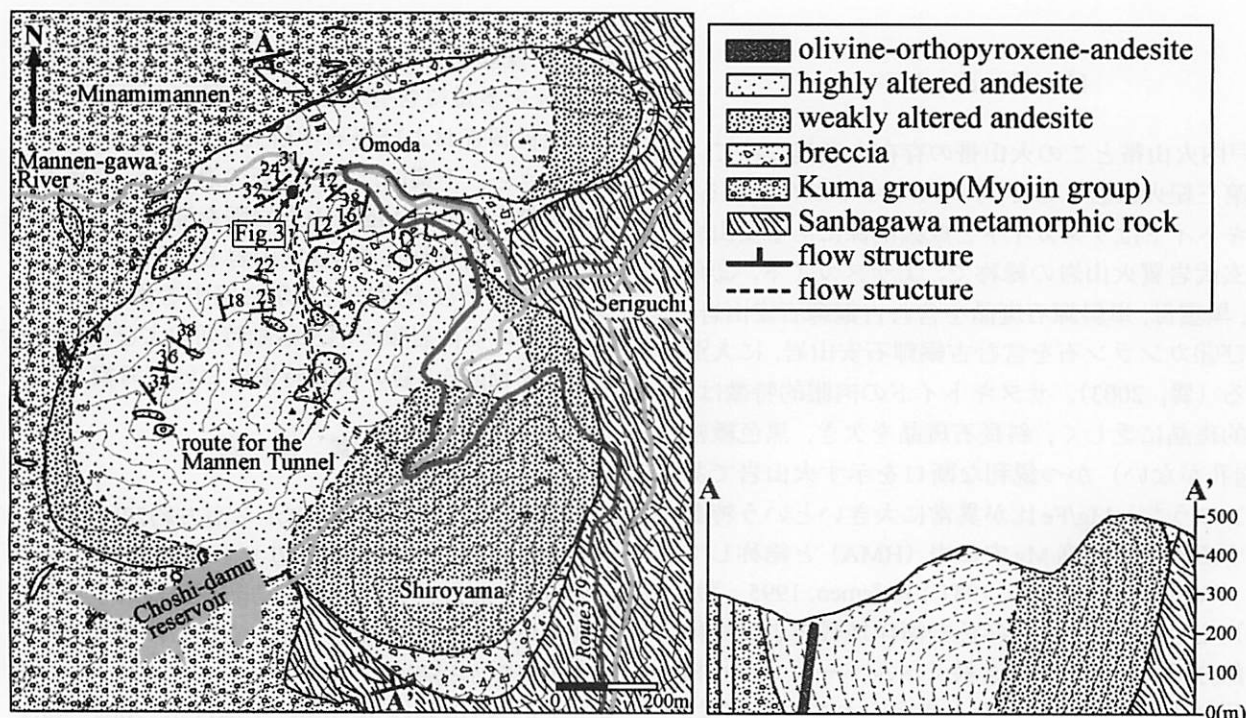


Fig. 2. Geological map and cross sections (modified from Chiba et al., 2005) in the Mannen altered andesite in the Tobe Town.

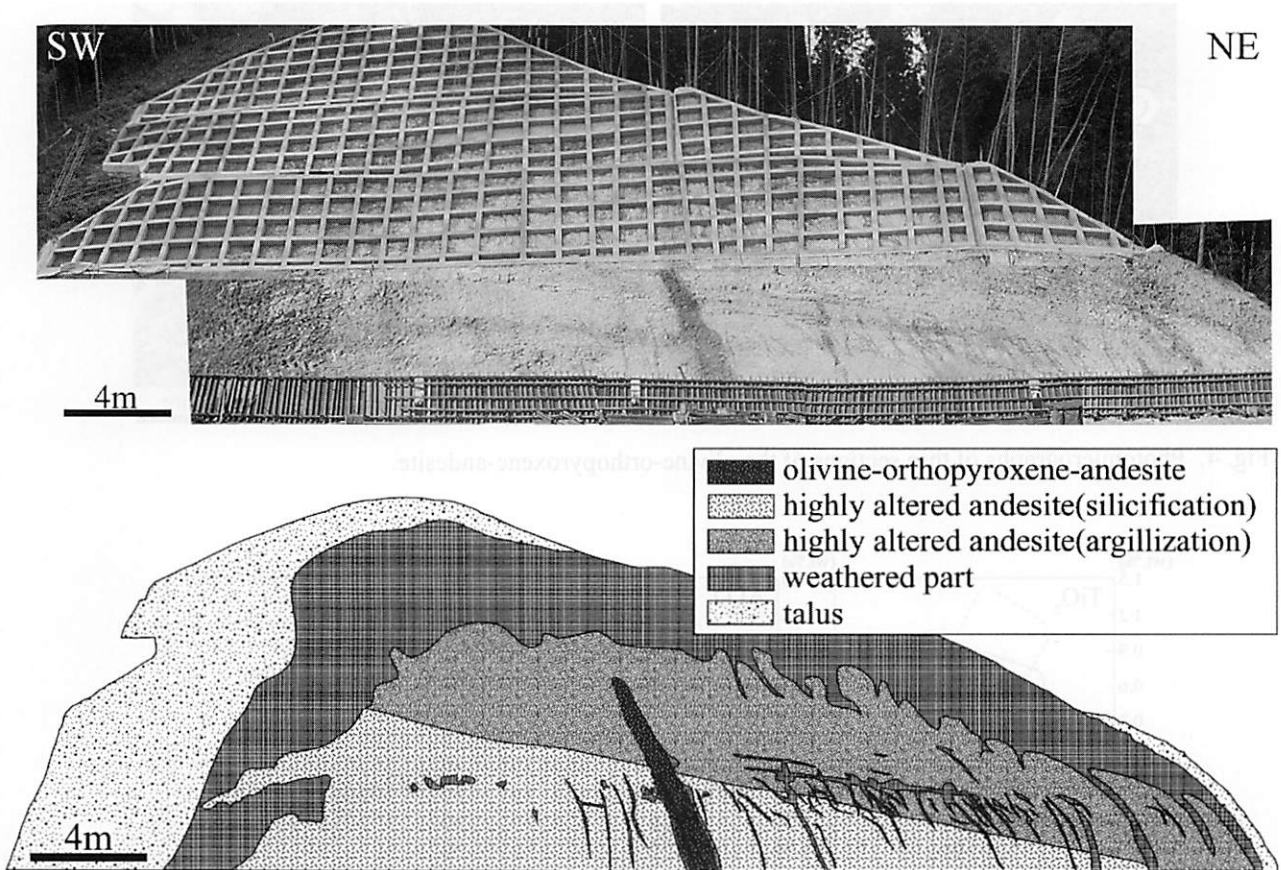


Fig. 3. Photograph and sketch of the outcrop of the olivine-orthopyroxene-andesite.

Upper: photograph of the outcrop, lower: sketch of outcrop.

石斜方輝石安山岩が強変質安山岩に貫入しているのが認められる。このカンラン石斜方輝石安山岩は熱水変質作用を受けていない。

石斜方輝石安山岩は、それらの境界および割れ目に沿って風化が進行している。

カンラン石斜方輝石安山岩の産状

カンラン石斜方輝石安山岩は、万年安山岩体北部の土木工事によって削られた露頭において、万年変質安山岩中に貫入している (Fig. 3)。貫入面の走行はN78°W、傾斜は84°北落ちである。カンラン石斜方輝石安山岩は緻密・硬質で、灰色～暗灰色を呈する。同安山岩は、万年変質安山岩との境界部に明瞭な急冷縁を有しない。肉眼で1~3mm大のカンラン石、斜方輝石およびスピネル斑晶が認められる。

カンラン石斜方輝石安山岩の周囲に分布する万年変質安山岩は著しい熱水変質を受け、粘土化および珪化が進んでいる。これに対して、万年変質安山岩に貫入しているカンラン石斜方輝石安山岩はまったく熱水変質を受けていない。

万年変質安山岩は地表から数mの領域で風化が進行している。また、万年変質安山岩およびカンラン

岩石記載

カンラン石斜方輝石安山岩は、斑晶としてカンラン石、斜方輝石およびスピネルを含むが、斜長石斑晶を含まない (Fig. 4)。これはサヌキトイドの岩石記載上の特徴と一致する。斑晶のカンラン石は0.3~3mmで、自形～半自形結晶である。斑晶の斜方輝石は0.2~1.5mmで、自形～半自形結晶である。多くのカンラン石および斜方輝石斑晶は、割れ目、劈開および結晶縁辺に沿って炭酸塩鉱物が形成されており、その程度の著しい一部のカンラン石は内部がすべて炭酸塩鉱物によって置換されているものも認められる。斑晶のスピネルは0.2~2mmで、赤褐色の自形～半自形結晶である。

石基はインターサータル組織を示し、斜長石および不透明鉱物よりなる。また、二次的にガラスを置換して石英および炭酸塩鉱物が形成されている。

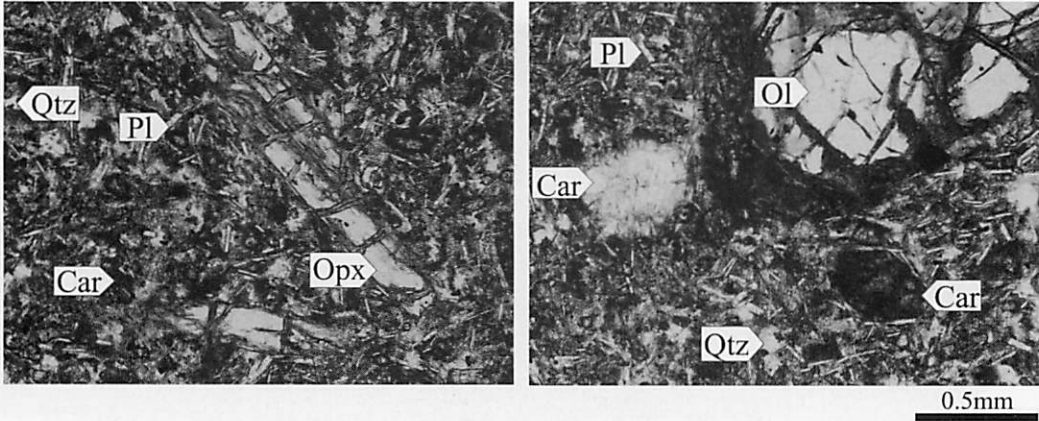


Fig. 4. Photomicrographs of thin sections of the olivine-orthopyroxene-andesite.

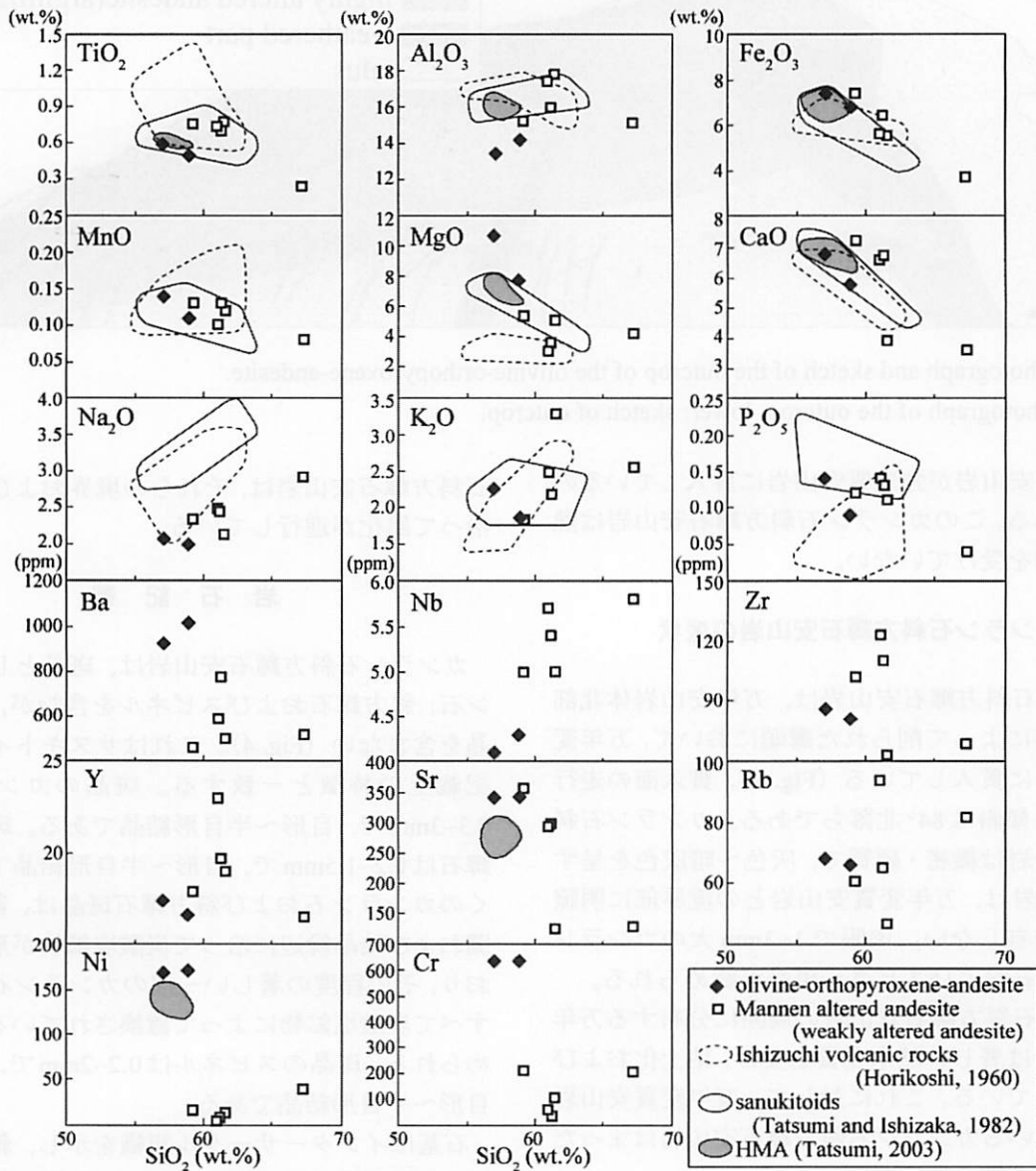


Fig. 5. SiO₂-major and trace elements diagram.

全岩化学組成

カンラン石斜方輝石安山岩および万年変質安山岩の比較的変質が進行していない弱変質安山岩の主要・微量元素の定量分析を行った。全岩化学分析は愛媛大学理学部に設置している蛍光X線分析装置(Philips PW2400)を使用して行った。蛍光X線分析装置(Philips PW2400)による分析方法・手順は、吉崎ほか(1996)、堀・樋口(1996)および樋口・堀(1996)に従った。

分析結果をTable 1に示す。カンラン石斜方輝石安山岩は、SiO₂が57.1~58.9wt.%, Al₂O₃が13.4~14.2wt.%, MgOが7.80~10.7wt.%およびCaOが5.8~6.8wt.%である。一方、万年変質安山岩は、SiO₂量が59.2~67.2wt.%で安山岩~デイサイトの組成を示す。Al₂O₃量は15.1~17.8wt.%と高く、MgOは3.1~5.4wt.%、およびCaO量は3.6~7.2wt.%と幅広い組成を示す。カンラン石斜方輝石安山岩と万年変質安山岩の化学組成を比較すると、カンラン石斜方輝石安山岩はMgO, Ba, Sr, NiおよびCrに富んでおり、万年変質安山岩はTiO₂, Al₂O₃, アルカリ(Na₂O,

K₂O), Nb, ZrおよびYに富んでいる(Fig. 5)。また、両岩石ともに、Miyashiro (1974)の図においてカルクアルカリ岩の領域にプロットされた(Fig. 6)。

カンラン石斜方輝石安山岩は高いMgO含有量(7.8~10.7wt.%)を示す。さらに、高いMg#(=100×Mg/(Mg+Fe))(55.8~61.5)および低いFeO*/MgO比(0.63~0.79)(Fig. 6, 7)を示すことから、それは高マグネシア安山岩に相当する。また、カンラン石斜方輝石安山岩は高いNiおよびCr含有量(Ni: 170~172ppm, Cr: 927~1019ppm)を示していることから未分化な組成を有しているといえる。さらに、カンラン石斜方輝石安山岩のTiO₂, Fe₂O₃およびCaO含有量は、巽(2003)のHMAに対比される(Fig. 5)。一方、それらのMgO含有量はHMAと比較して高く、Al₂O₃含有量は相対的に低い。

鉱物化学組成

カンラン石斜方輝石安山岩の斑晶カンラン石、斜方輝石およびスピネルの定量分析を行った。分析は愛媛大学理学部に設置しているエネルギー分散型走

Table 1. Concentrations of major and trace elements.

Sample No.	TW-1	TW-14	T-2	T-3	T-8	T-18	T-24
Rock name	OPA	OPA	MAA	MAA	MAA	MAA	MAA
(wt.%)							
SiO ₂	58.9	57.1	61.2	59.2	67.2	61.5	61
TiO ₂	0.49	0.59	0.73	0.77	0.25	0.78	0.75
Al ₂ O ₃	14.2	13.4	16	15.2	15.1	17.8	17.4
Fe ₂ O ₃	6.86	7.45	6.4	7.4	3.73	5.57	5.6
MnO	0.11	0.14	0.13	0.13	0.08	0.12	0.1
MgO	7.8	10.7	3.62	5.4	4.26	5.1	3.08
CaO	5.78	6.76	6.7	7.2	3.62	3.91	6.6
Na ₂ O	1.98	2.06	2.44	2.34	2.91	2.14	2.47
K ₂ O	1.85	2.25	2.17	1.82	2.54	3.28	2.48
P ₂ O ₅	0.09	0.14	0.13	0.12	0.04	0.11	0.14
Total	98.06	100.59	99.52	99.58	99.73	100.31	99.62
(ppm)							
Ba	1019	927	772	462	517	501	588
Nb	4.3	4.1	5.4	5	5.8	5	5.7
Zr	81	86	110	102	69	63	123
Y	16.6	17.4	19.7	17.9	16.5	19	23
Sr	344	342	296	356	129	125	293
Rb	66.4	68.2	65.4	61	82	47	93.8
Th	4.1	5.4	5.2	5.9	6	-	8.2
Pb	15.6	14.9	12.2	20.5	11.7	15.3	21.3
Cu	29.2	28.3	15.3	17.9	14.8	14.5	11.8
Ni	172	170	6	17	39	13	5
Cr	637	633	37	208	203	108	60
Ce	31.9	26	47.3	33.1	53.9	112	39.3
V	166	162	183	174	53	120	110
La	12.7	10	17.5	18.5	23.4	17.4	19.3
Sc	23.8	19.8	23.4	21.5	10.7	-	19.3

OPA: olivine-orthopyroxene-andesite, MAA: Mannen altered andesite(weakly altered andesite).

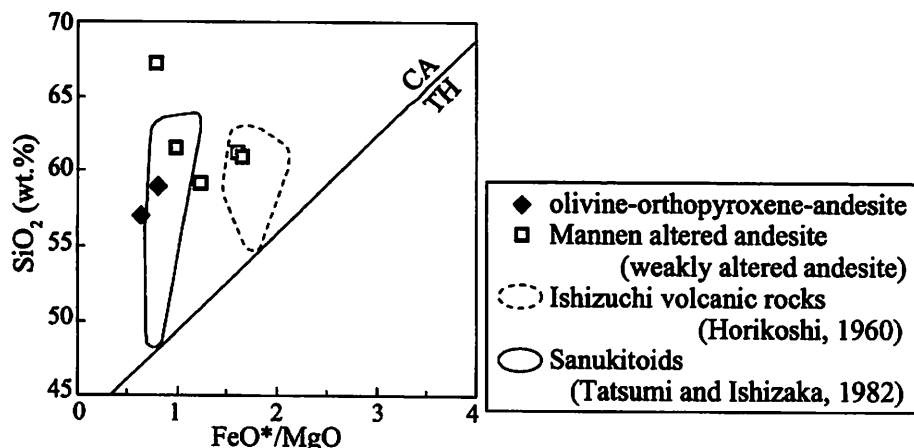


Fig. 6. SiO₂-FeO*/MgO diagram.
Boundary of calc-alkali (CA) and tholeiite (TH) is Miyashiro(1974).

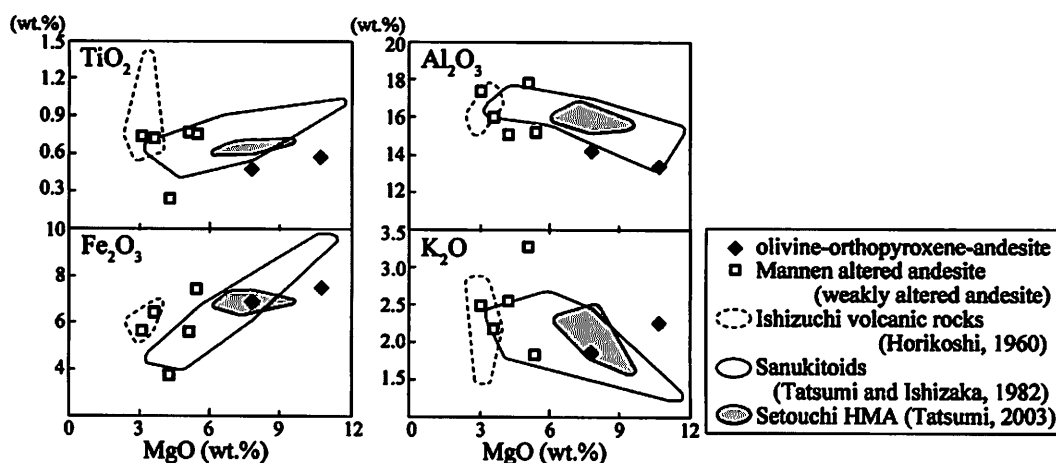


Fig. 7. MgO-major and trace elements diagram.

査顕微鏡（日本電子製 JSM-5400）に X 線検出器（Oxford社製）を装着したEDSを使用して行った。測定条件は5000倍で加速電圧15kv, 電流値 4.00×10^{-10} A, 測定時間 50sec.である。分析結果を Table 2 に示し、以下で各鉱物について述べる。

1. カンラン石

斑晶カンラン石の組成範囲は、高いFo成分量(88.7~89.0)を示すことで特徴づけられる。NiO含有量は最大で0.35%に達する (Table 2)。

2. 斜方輝石

斑晶斜方輝石の組成範囲は $Wo_{0.12-2.68}En_{77.92-88.85}Fs_{9.99-19.40}$, Mg# (=100×Mg/Mg+total Fe) は80.06~89.80の範囲を示す。斑晶斜方輝石のうち高いMg#を有するものは、斑晶カンラン石とほぼ

同じ値をもつ。これらは、Tatsumi(1982)によるサヌキトイド中の斜方輝石の組成範囲と調和的である (Fig. 8)。また、斑晶の斜方輝石に含まれるCr₂O₃含有量は最高で0.89wt.%に達し、Mg#の減少にもなってCr₂O₃も減少している。

3. スピネル

含カンラン石斜方輝石安山岩に含まれるスピネルはいずれも高いCr含有量 (Cr₂O₃: 56.40~59.98wt.%)を示しており、Cr/(Cr+Al)比は0.80~0.82である。また、それらのCr/Al比はほぼ一定である。巽(2003)による小豆島のHMAのスピネルと比較すると、砥部のそれはよりCrに富んでいるが、Tatsumi (1982)によるサヌキトイド中のスピネルの組成範囲には含まれる (Fig. 9)。

愛媛県砥部町の万年変質安山岩体に貫入する高マグネシア安山岩

Table 2. Chemical composition of phenocrysts.

	ol	ol	opx	opx	opx	opx
SiO ₂	41.19	40.4	56.21	54.38	57.14	56.13
TiO ₂	0.06	-	0.42	-	-	-
Al ₂ O ₃	0.07	0.31	1.47	2.51	1.31	1.66
Cr ₂ O ₃	-	0.23	0.89	-	0.12	0.42
MnO	-	0.72	0.31	0.31	0.41	0.47
MgO	47.87	49.21	33.1	28.49	33.29	33.45
FeO	10.58	11.15	7.1	12.65	7.59	6.77
CaO	0.18	0.12	1.17	1.39	1.04	1.07
NiO	0.35	-	-	-	0.25	-
Na ₂ O	0.56	0.74	0.66	0.75	0.65	0.68
K ₂ O	0.07	0.08	-	-	0.26	0.05
Total	100.93	102.96	101.33	100.48	102.06	100.7
O=	4	4	6	6	6	6
Si	1.006	0.974	1.936	1.934	1.958	1.94
Ti	0.001	-	0.01	-	-	-
Al	0.002	0.009	0.06	0.106	0.052	0.068
Cr	-	0.004	0.024	-	0.004	0.012
Mn	-	0.015	0.01	0.01	0.012	0.014
Mg	1.742	1.77	1.7	1.51	1.7	1.726
Fe	0.216	0.225	0.204	0.376	0.218	0.196
Ca	0.005	0.003	0.044	0.052	0.036	0.04
Ni	0.007	-	-	-	0.008	-
Na	0.026	0.035	0.044	0.052	0.044	0.056
K	0.002	0.002	-	-	0.012	0.002
Total	3.007	3.037	4.032	4.04	4.044	4.054
Mg#	88.97	88.72	89.29	80.06	88.63	89.8

Mg#=100×Mg/(Mg+total Fe), Fe²⁺ is estimated from the spinel stoichiometry.
ol: olivine, opx: orthopyroxene.

Table 2. Chemical composition of phenocrysts.

	sp	sp	sp	sp	sp	sp
SiO ₂	0.37	0.26	0.31	0.15	0.2	0.28
TiO ₂	0.07	0.27	0.26	0.32	0.44	-
Al ₂ O ₃	9.16	9.04	9.25	9.97	9.03	8.89
Cr ₂ O ₃	59.67	59.5	59.98	58.8	57.85	56.4
MnO	0.23	0.23	-	-	0.49	0.29
MgO	12.53	12.77	12.66	12.48	12.36	8.54
FeO	19.24	17.49	17.49	18.05	20.12	24.53
CaO	0.01	-	-	0.14	-	-
NiO	-	-	-	-	-	-
Na ₂ O	0.81	0.76	0.35	0.59	0.71	0.44
K ₂ O	-	-	0.1	-	0.01	0.05
Total	102.09	100.32	100.4	100.5	101.21	99.42
O=	32	32	32	32	32	32
Si	0.096	0.064	0.08	0.04	0.048	0.08
Ti	0.016	0.048	0.048	0.064	0.088	-
Al	2.8	2.792	2.848	3.072	2.792	2.864
Cr	12.216	12.336	12.4	12.136	12	12.184
Fe ³⁺	1.568	1.36	1.256	1.2	1.72	1.392
Mn	0.048	0.036	-	-	0.112	0.064
Mg	4.832	4.992	4.928	4.856	4.832	3.48
Fe ²⁺	2.6	2.472	2.568	2.736	2.696	4.216
Ca	-	-	-	0.04	-	-
Ni	-	-	-	-	-	-
Na	0.408	0.384	0.176	0.304	0.36	0.232
K	-	-	0.032	-	-	0.016
Total	24.584	24.484	24.336	24.448	24.648	24.528
Mg#	53.69	56.57	56.31	55.23	52.25	38.3

Mg#=100×Mg/(Mg+total Fe), Fe³⁺ is estimated from the spinel stoichiometry.
sp: spinel.

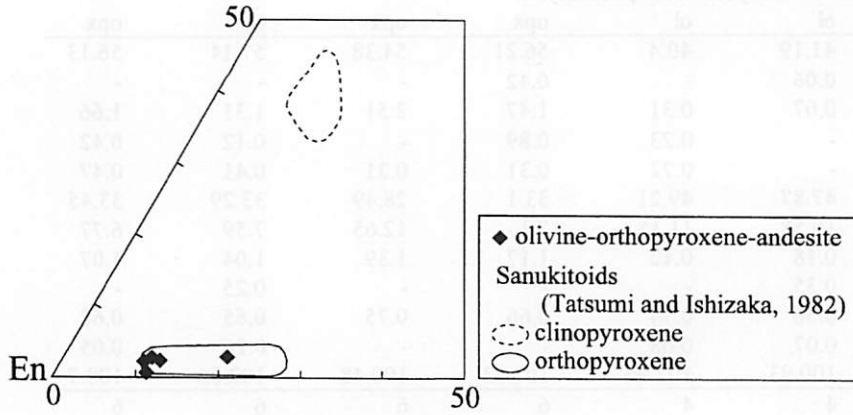


Fig. 8. Composition of orthopyroxene.

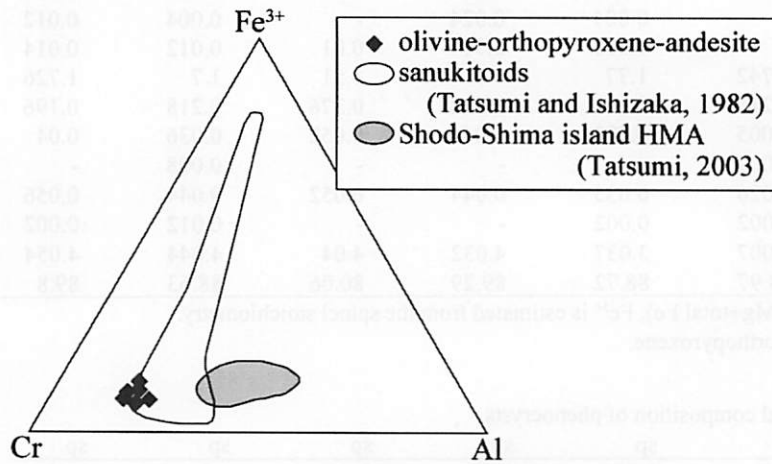


Fig. 9. Cr-Al-Fe³⁺ diagram of spinel.

考 察

上述のように、万年変質安山岩体に貫入する含カンラン石斜方輝石安山岩は、斑晶鉱物組み合わせ、斑晶鉱物の化学組成および全岩化学組成に基づく、いわゆる高マグネシア安山岩（HMA）に相当する。また、全岩組成中のMgO、CrおよびNi含有量が高いことから、これはHMAの中でも最も未分化なマグマが貫入したものであると言える。

カンラン石斜方輝石安山岩と万年変質安山岩体の形成時期は、その産状に基づく地質学的にほぼ同時期であると考えられる。しかしながら、前者は熱水変質作用を受けていない。このことから、万年変質安山岩体と含カンラン石斜方輝石安山岩の形成時期には若干の前後関係があったことが分かる。すなわち、万年安山岩体は、貫入後それとほぼ同時期に

熱水変質作用を受け、その熱水変質が終了した後に、含カンラン石斜方輝石安山岩が貫入したと推定される。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、野外調査および室内実験の際に、愛媛大学大学院理工学研究科の学生諸氏に協力していただいた。ここに記して謝意を表す。また、本研究の研究費の一部は、平成16年度及び平成17年度愛媛大学研究開発支援経費（特別推進研究）が使用された。

文 献

千葉悦子・岡田智子・榊原正幸・佐野 栄・堀 利栄・中井芳恵, 2004, 愛媛県砥部町万年地域にお

- ける砒素に富む変質安山岩の風化作用と地表水の砒素濃度の関係. 第14回環境地質学シンポジウム論文集, 129-134.
- 千葉悦子・榊原正幸・佐野 栄・堀 利栄・中井芳恵, 2005, 愛媛県砥部町の万年変質安山岩体の化学的風化における主要・微量元素の挙動. 愛媛大学理学部紀要, 11, 39-46.
- 樋口 靖・堀 利栄, 1996, 蛍光X線による微量成分分析のための珪質岩石試料の調整. 愛媛大学理学部紀要, 2, 1-14.
- 堀 利栄・樋口 靖, 1996, Rh管球を用いた蛍光X線による岩石中の微量成分の定量. 愛媛大学理学部紀要, 2, 27-36.
- 堀越和衛, 1960, 四国石鎚山火成岩類の化学成分(I). 愛媛大学紀要第II部(自然科学)Dシリーズ(地学), 4, 31-50.
- Kelemen P. B., 1995, Genesis of high Mg# andesites and the continental crust. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 120, 1-19.
- Miyashiro A., 1974, Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Amer. Jour. Sci.*, 274, 321-355.
- 中井芳恵・近石沙知子・榊原正幸・堀 利栄・佐野 栄, 2003, ヒ素に富む変質安山岩の環境岩石学的研究, 第13回環境地質学シンポジウム論文集, 199-204.
- 榊原正幸・千葉悦子・近石沙知子・中井芳恵, 2005a, 愛媛県砥部町における万年変質安山岩体周辺の地質および熱水変質作用. 愛媛大学理学部紀要, 11, 19-26.
- 榊原正幸・中井芳恵・千葉悦子・近石沙知子・佐野 栄・堀 利栄, 2005b, 愛媛県砥部町の万年変質安山岩体のボーリングコアにおける硫化鉱物の産状および砒素濃度. 愛媛大学理学部紀要, 11, 27-37.
- 榊原正幸・高木 梢・井上雅弘・久保田領志・堀 利栄・佐野 栄, 2003, 環境岩石学によるファイトレメディエーション技術の実用化への展開—ヒ素に富む安山岩地域の開発を例として—. 第13回環境地質学シンポジウム論文集, 205-210.
- 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.
- Tatsumi Y. and Ishizaka K., 1981, Existence of andesitic primary magma: an example from Southwest Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 53, 124-130.
- Tatsumi Y. and Ishizaka K., 1982, Magnesian andesite and basalt from Shodo-Shima island, southwest Japan, and their bearing on the genesis of calc-alkaline andesites. *Lithos*, 15, 161-172.
- 吉崎 正・田村洋子・佐野 栄・堀 利栄・小松正幸, 1996, 蛍光X線分析法による珪酸塩岩石の主要元素の分析. 愛媛大学理学部紀要, 2, 15-26.