

角閃石斑晶の光学的性質の噴出後における変化

—香川県池田町開拓産角閃石安山岩の例—

氏 家 治*

Change in Optical Properties of Hornblende Phenocryst after the Eruption: An Example in Hornblende Andesite from Kaitaku, Ikeda-cho, Kagawa Prefecture

Osamu UJIKE

Abstract

Hornblende phenocrysts, systematically collected from an outcrop of a hornblende andesitic lava flow at Kaitaku, Shodo-shima Island, have been studied optically. Approximate modal analyses indicate that the lava flow is homogeneous originally. Green hornblendes with low refractive indices and birefringence and large extinction angle are dominantly contained in the chilled base of the flow. At points 2 to 3 m above the base, hornblendes are brown to red and have the highest refractive indices and birefringence and the smallest extinction angle on the outcrop. Oxidation of hornblende in the inner parts of the lava flow after the eruption seems to cause variations of the optical properties. Opacitization of hornblende is pronounced also in the inner parts in parallel with the increase in amount of druse and siliceous veinlet. Slow cooling of host lava flow is likely to be an important factor in opacitization and probably oxidation of hornblende phenocryst as has been suggested by KUNO (1950) and other investigators.

要 旨

香川県小豆島開拓地域の角閃石安山岩の一露頭から角閃石斑晶を系統的に採取しその光学的性質を調べた。顕微鏡観察によると、噴出時の溶岩は基本的には均質だったと思われる。溶岩の下底急冷部には、屈折率・複屈折が低く消光角の大きな緑色角閃石が圧倒的に多数含まれる。下底接触部から2~3m上部では、角閃石は褐色ないし赤色で同露頭内のどの位置におけるよりも屈折率・複屈折が高く消光角は小さい。また角閃石のオパサイト化の進行は溶岩の内部において著しい。そこで噴出後の酸化によって角閃石の光学的性質が変化したことが示唆される。角閃石斑晶の酸化およびオパサイト化には、すでにKUNO(1950)などが述べているように、溶岩が徐冷することが重要な要因であると考えられる。

1. はじめに

火山岩類の野外調査中にしばしば気付くことであるが、溶岩中の角閃石に比べて降下火山灰中のものの方が

案外新鮮で崩壊しないまま残っていることがある。また明らかに同一溶岩から作成した薄片中でも、その採取位置によって角閃石の光学的性質が異なることがある。このような現象の説明としては、室内での加熱実験(KOZUほか, 1927; KOZUとYOSHIKI, 1929; BARNES, 1930; 山口, 1969など)の結果や角閃石を含む岩石の産状に基づいて、一般に地表付近での水素の散逸による酸化がその原因であろうとされている(KOZUとYOSHIKI, 1929; LARSENほか, 1937; TANEDA, 1942; KUNO, 1950; AOKI, 1963; LEWIS, 1968; KURODA, 1971)。

角閃石斑晶の光学的性質が地表付近での酸化によって変化するものならば、当然その変化の程度と溶岩内における位置関係は関連性を示すはずである。この観点から、安山岩質溶岩の一露頭において、角閃石斑晶の光学的性質とその採取位置(下底からの高距)との関連性について調査を行った。興味深い結果が得られたのでそれを報告し、さらに若干の考察を試みた。なお、本研究は現在継続中の香川県に分布する第三紀火山岩類の岩石学的研究の一部をなすものである。

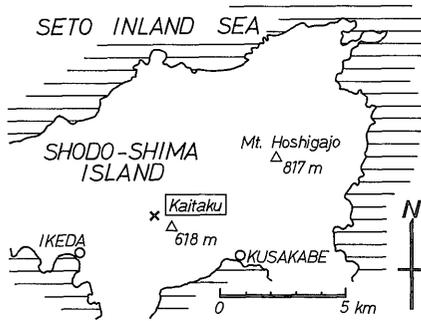
* 四国出張所

2. 角閃石斑晶の産状

2.1 採取地点および周辺の地形・地質概略

本研究に用いた角閃石斑晶は、小豆島第1の高峰・星ヶ城山(817m)の西南西方約5kmの尾根上の小ピーク(618m)から北西方向に広がる平坦な台地(520~560m)上、香川県小豆郡池田町開拓から採取した(第1図)。地元では周辺の山塊を段山と呼んでいるが、本報告では5万分の1地形図「草壁」にしたがって開拓と称する。本地域は別荘用地として開発中で、試料採取地点を別荘用地内の番地で表わせば小豆島ヴィラ1丁目102番地である。

台地の上部は試料を得た角閃石安山岩溶岩のほか流紋岩質凝灰岩・紫蘇輝石安山岩類の溶岩および火砕岩類などで構成され、これらはすべて瀬戸内火山岩石区に属する。角閃石安山岩溶岩は、上記の火山岩類の最上位を占めて台地頂上から北西方向に細長く分布している。台地上にはかなり多孔質な同質の岩塊が散在しているので、現在の地表面の一部はあるいは流出時の溶岩の表面に近い部分かもしれない。



第1図 露頭地点(×)を示す略図
Sketch map showing locality (cross) of the outcrop.

角閃石安山岩溶岩と同時に前後して噴出した同質の火山灰層は当地域ではみだされない。このため同一マグマに由来することが明らかな溶岩と火山灰に含まれる角閃石斑晶を比較することはできない。そこで次善の策として、付近の角閃石含有紫蘇輝石安山岩質火山角礫岩中のかかなり発泡した(ただし軽石と呼べるほどには発泡していない)ガラス質火山礫を採取した。

2.2 角閃石安山岩溶岩の産状

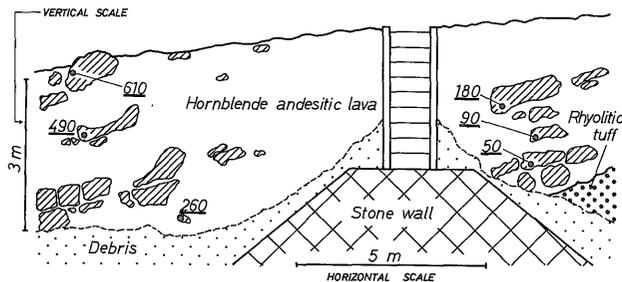
本報告中での試料番号は、溶岩の下底接触部から採取位置までの高さ(単位cm)をそのまま用いている。採取位置は、接触部からそれぞれ50・90・180・260・490・610cm離れた部分である(第2図)。

角閃石安山岩の下位の黒雲母流紋岩質凝灰岩は、前者との接触部から50cmほどが紅褐色に変質している。角閃石安山岩溶岩は北北西(N30°W)方向に約15°傾斜し、下底から内部に20cmほどの部分は黄褐色の粘土状に完全に風化変質している。これより上部では、風化はやはり激しいものの玉葱状構造の内部などから新鮮な岩片が採取できる。下底から20~60cmの岩石は黒色ちみつで不鮮明ながらも貝殻状断口を示す。60cmより上部になるとざらついた感じになり肉眼的に気泡・晶洞が認められる。

試料50で下底急冷部を、また90~490で溶岩内部(徐冷部)を代表させる。610は現在の地表面付近である。なお、露出状況の都合で、下半の3個と上半の3個とは同一露頭内の10mほど離れた別の断面から採取した。

2.3 岩石記載

石基: 斜方輝石+斜長石+アルカリ長石+クリストバル石+鉄鉱+ガラスで構成され、一般に流理が認められる。無色透明なガラスは試料50にはかなり多量に存在するが上部から得た薄片中では少ない。クリストバル石はこれとは逆に50中ではほんのわずしか見られない。



第2図 露頭のスケッチ

Sketch of the outcrop.

Dots with numbers: sampling points and heights (cm) above the base of an andesitic lava flow. Shaded areas: fresh blocks.

斑晶：柱状角閃石はしばしば双晶をなしかつ累帯（一般に外側で消光角が大）し、常にオパサイト縁に囲まれている。斜方輝石（ $En_{64} \sim En_{70}$ ）および単斜輝石はおもに単独の結晶として産するが角閃石中に包含されていることもある。斜長石（ $An_{66} \sim An_{81}$ ）は一般に結晶の内部が変質し外縁部のみが新鮮であり、この傾向は溶岩の内部から得た薄片中でより著しい。

同じ露頭の岩石の晶洞を除いたモード組成は、石基 80.9・斜長石 11.0・角閃石（オパサイト化した部分をも含む） 7.0・斜方輝石 0.9・単斜輝石 0.1・鉄鉱 tr（容量%）である（Ujike, 1972の Table 1, No. 32）。この量比は岩片の採取位置ごとに多少は異なるものの本質的にはほぼ一定であり、この露頭に関するかぎりかなり均質な溶岩といえる。ところが晶洞と珪質脈の量および角閃石のオパサイト化率、すなわち100×オパサイトの量/（オパサイト+角閃石）の量、は変化に富んでいる。大まかな目測値にすぎないが、第1表にこれらに関するデータを示した。溶岩内部の晶洞の多い部分ではオパサイト化が進んでいるようにみえる。

第1表 晶洞+珪質脈のおおよその容量比とオパサイト化率

Approximate volume percent of druse plus siliceous veinlet and opacitization ratio.
Sample number: height (cm) of sampling point above the base of an andesitic lava flow (see Fig. 2). Opacitization ratio: 100 × opacite/(fresh hornblende + opacite) in volume.

Sample	Druse (%)	Opacitization
610	4	70
490	5	80
260	5	70
180	4	60
90	0.2	40
50	tr	30

3. 角閃石の光学的性質の測定

3.1 試料の調整および測定方法

岩片を粉碎して100（一部の試料については145）メッシュを通過した粉末を水洗し、長柱状の角閃石を各採取位置ごとに20粒鏡下で選び出して光学的性質を測定した。このとき、オパサイト化が著しくて回収率の悪い一部の粉末においては、テトラブロムエタンを用いて角閃石を濃集させた後に手選した。

光学的性質の測定には手製の簡便型スピンドル・ステージを用いた。このステージは、河内（1972）の第1図と第9図の中間的なものであり、分度器を設備していな

いため光軸角の測定は不可能だが、スピンドルを固定したままでセルの部分を取り外して浸液の交換ができる。試料のマウントに際しては、C軸がスピンドルの軸となるべく一致するようにした。両軸のなす角は常に5°以内で多くの場合3°以内なので、消光角の測定値はほぼZΛcに等しいだろう。

3.2 測定結果

測定結果を第2表にまとめた。屈折率の測定誤差の範囲は±0.002である。このため、光軸角を計算によって一応求めたが、その値には大きな誤差が見込まれる。第3図では、縦軸に溶岩の下底接触部からの高距を用いて、角閃石の光学的性質とその採取位置との関係を図示してある。角閃石含有紫蘇輝石安山岩質火山礫中の角閃石（試料X）についての測定結果も比較のために両図表に併記した。

屈折率および複屈折の最高値と平均値は下底部で最も低く、接触部から180ないし260 cm までは高くなり、それ以上になるとやや低下する。αの変化は小さくて測定誤差の範囲をわずかに上まわる程度にすぎないが、βとγでは上記の変化が明瞭である。最高値と最低値の間隔、すなわち見掛け上のばらつきの幅^{注1)}も同様に180~260 cm で最大である。

消光角（ZΛc）は、下底部で最も大きくて平均10°、最大14°である。これに対して溶岩内部（180~490 cm）では平均3~4°、最大10°と小さく、最上部（610 cm）では再びやや大きくなり平均5°、最大11°である。

多色性についてみれば、X軸に関しては採取位置とは無関係に常に無色ないし（帯紅）淡黄色である。Y軸の軸色は一般に淡緑褐色ないし黄褐色であるが、溶岩内部ではやや色の濃いものが多い。Z軸の軸色の違いは明瞭（第3図）で、試料50と90以外には緑色のものはほとんど含まれず、逆に赤色系（暗赤褐色ないし赤色）のものは180~490 cm の間にしか存在しない。すなわち下底急冷部には緑色角閃石が多く、溶岩内部には褐色ないし赤色の角閃石が多いといえる。

すでに述べたように信頼度のきわめて低い値ではあるが、光軸角の計算値は接触部から離れるほど減少する傾向にある。

ここでかなり発泡したガラス質火山礫中の角閃石（試料X）についてみると、すべてのデータが試料50と区別できないほどによく似ている。つまり緑色角閃石が圧倒的に多く、屈折率と複屈折が低く、かつそれらのばらつきの幅が狭く、消光角は大きい。

注1) 20個の測定値において認められる幅であり、その位置における真の最高値と最低値の間隔ではない。

第 2 表 角閃石斑晶の光学的性質

Optical properties of hornblende phenocrysts.

Data are for 20 grains from each sampling point of a lava flow. Sample numbers are the same as in Table 1. X: hornblende phenocryst from hornblende-bearing hypersthene andesitic glassy lapilli collected from an outcrop near the lava flow.

Sample		Refractive indices			Birefringence	2Vx calc.	Z/c
		α	β	γ			
610	maximum	1.675	1.698	1.708	0.037	91°	11°
	minimum	1.659	1.675	1.685	0.026	64°	0°
	interval	0.016	0.023	0.023	0.011	27°	11°
	average	1.667	1.687	1.698	0.031	72°	5°
490	maximum	1.676	1.708	1.719	0.043	89°	8°
	minimum	1.661	1.676	1.689	0.026	59°	0°
	interval	0.015	0.032	0.030	0.017	30°	8°
	average	1.668	1.690	1.702	0.034	72°	3°
260	maximum	1.680	1.711	1.735	0.055	88°	10°
	minimum	1.660	1.674	1.686	0.025	65°	0°
	interval	0.020	0.037	0.049	0.030	23°	10°
	average	1.667	1.690	1.705	0.038	77°	4°
180	maximum	1.682	1.711	1.728	0.048	90°	7°
	minimum	1.659	1.676	1.687	0.023	64°	0°
	interval	0.023	0.035	0.041	0.025	26°	7°
	average	1.669	1.690	1.704	0.035	78°	3°
90	maximum	1.679	1.699	1.713	0.035	96°	11°
	minimum	1.661	1.674	1.687	0.022	70°	2°
	interval	0.018	0.025	0.026	0.013	26°	9°
	average	1.666	1.682	1.693	0.027	79°	6°
50	maximum	1.673	1.687	1.698	0.034	97°	14°
	minimum	1.653	1.668	1.678	0.022	74°	3°
	interval	0.020	0.019	0.020	0.012	23°	11°
	average	1.662	1.677	1.688	0.026	81°	10°
X	maximum	1.673	1.687	1.697	0.028	96°	14°
	minimum	1.658	1.671	1.684	0.021	70°	2°
	interval	0.015	0.016	0.013	0.007	26°	12°
	average	1.665	1.678	1.689	0.024	85°	9°

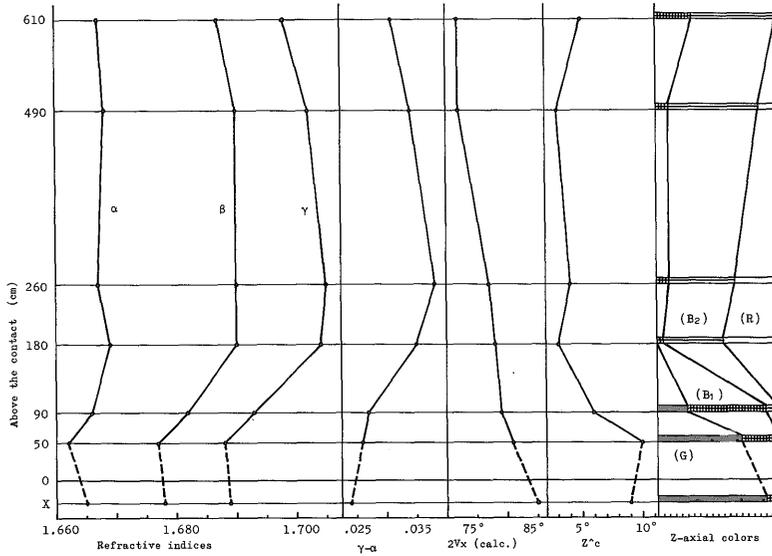
溶岩中の角閃石120個について、複屈折-消光角-Z軸の軸色の相関性を第4図に示した。緑色角閃石は複屈折が低く(0.022~0.028)、消光角が大きい(5~14°)のに対し、赤色系のものは複屈折が高く(0.034~0.055)、消光角が小さい(0~5°)。そして褐色角閃石は両者と一部ずつ重複して中間的な位置にプロットされる。

4. 考 察

おのおのの位置での光学的性質の測定値に幅があるのは、Mg²⁺とFe²⁺など陽イオンの置換によって角閃石が累

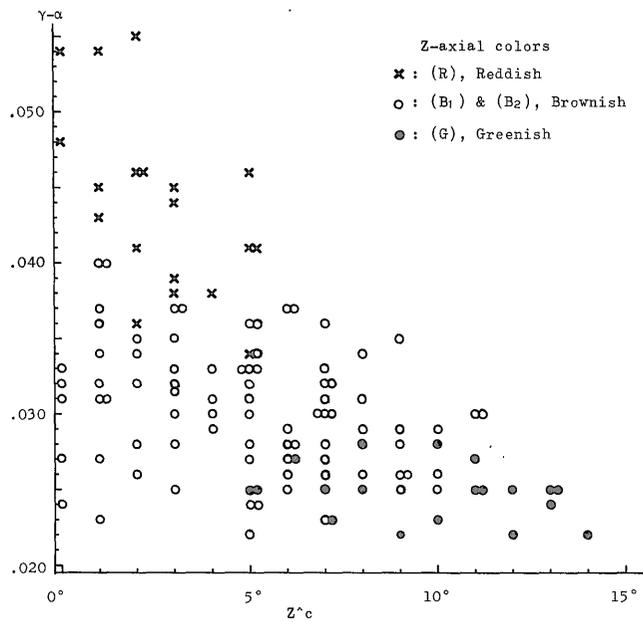
帯しているとか、あるいは個々の結晶粒ごとに組成がばらついていることが原因の一端であろう。しかし測定値の幅や平均値が試料採取位置ごとに系統的に異なっていることは、角閃石斑晶の成長時における陽イオンの置換ひいては地下でのマグマの不均質性に起因するとは考えにくい。なぜなら、試料はすべて非常に狭い露頭から得たものであり、いずれの位置でもそのモード組成はほぼ一定であり、さらに下底接触部からの高距を共通の軸としてみると、角閃石の光学的性質の変化のしかた(第3図)が晶洞の量およびオパサイト化率の変化のしかた

角閃石斑晶の光学的性質の噴出後における変化 (氏家 治)



第3図 角閃石の光学的性質 (平均値) の採取位置による変化
Variation of average optical properties of hornblende phenocrysts
with height (cm) above the base of an andesitic lava flow.

Dots: average values for 20 grains from each point. Z-axial colors: green to brownish green (G), greenish brown (B₁), brown to dark brown (B₂) and reddish brown to red (R). Data for X (see Table 2) are also shown for comparison.



第4図 角閃石の複屈折—消光角—軸色関係図
Diagram showing the relationship among birefringence,
extinction angle and Z-axial color of hornblende.

(第1表)とほぼ一致している。少なくとも晶洞の生成は地表付近でのできごとだろうから、角閃石の光学的性質の位置ごとの相違は溶岩の噴出後の環境のちがいを反映しているはずである。つまり、晶洞の成長するような環境下では、角閃石の光学的性質が溶岩の冷却中に変化するようみえる。ここで、同じ噴火活動の産物でないので単純な比較はできないが、噴出後に極めて短時間で冷却固化したと思われる火山礫中の角閃石(試料X)が溶岩下底急冷部のもの(50)と光学的に酷似していることもこの見解と調和している。

角閃石斑晶は溶岩が変質して粘土化した部分では完全に崩壊している。また試料の砕碎時には肉眼的に新鮮な岩片のみを用いた。そこで著しく風化された角閃石が試料中に含まれる可能性はないといえる。逆に、多少の変質では角閃石の光学的性質はほとんど影響されない(新井, 1972)。故に今回の測定値の相違は風化の程度のちがいを反映しているのではない。

角閃石を空气中で加熱すると酸化角閃石に変化する(Kozuほか, 1927など)。またすでに述べたように、地表付近での溶岩の再加熱(例えば, Kozuほか, 1927; Lewis, 1968など)あるいは適当な冷却条件(例えば, Kuno, 1950)下で角閃石中の水素が散逸することにより酸化角閃石が生じることは一般に認められている。このときの光学的性質の変化は、本研究において溶岩下底から内部に向けて見られる変化と一致しているので、溶岩内部の角閃石斑晶は下底部のものに比べてより強く酸化されていると思われる。さらに山口(1969)は、同一温度・同一加熱条件下でも加熱時間が長いほど強く酸化し光学的性質の変化も大きいと述べている。そこで今回の測定結果から次のことが示唆される。溶岩下底部やガラス質火山礫のような急冷相に比べると、溶岩の徐冷部ではより長時間にわたって大気圧(Atmospheric pressure)に近い低圧下で高温に保たれるので角閃石の酸化およびオパサイト化が進行するのだろう。

以上の観点から測定結果をみなおすと、最上部の試料(610)が内部のものに比べて低屈折率・低複屈折・大消光角で赤色系角閃石を欠いており、あまり強くは酸化されていないようにみえることが意味をもってくる。すなわち比較的急速な冷却が示唆され、したがってこの部分が噴出時の溶岩表面から著しくは離れていなかったものと推定できる。ただし急冷相の角閃石と比べるとかなり酸化されているようなので、表面にあまり近かったとも思えない。

ここまでの議論は、単純に噴出後の熱的歴史のみに関連させて考えてきた。しかしながら冷却の過程において

溶岩が非常に細かな規模で不均質になることは珪質脈の生成などから明らかなので、残液および揮発性成分が濃集した部分と他の部分とでは初生変質の程度が異なっているものと思われる。そこで、角閃石斑晶の光学的性質測定の試料を得るためには、微細な化学的不均質さをカバーできるだけの大きさの岩片を用いることが必要だといえる。今回の測定結果は採取位置間での変化がかなり滑らかなので、この点に関しては問題なさそうである。ただし、分結脈などが生じるほどに大きな規模で不均質化した場合には、その周辺部では初生変質による角閃石の酸化も無視できないだろう。

現時点では角閃石の酸化ということ自体が光学的に推定されているに過ぎないので、これ以上に詳細な検討は無意味である。現在筆者は、より細かなサンプリングに基づいて角閃石のFeOの定量をも含めた研究を続行中である。その結果については稿を改めて報告したい。

5. ま と め

角閃石安山岩溶岩および角閃石含有紫蘇輝石安山岩のガラス質火山礫中の角閃石斑晶の光学的性質(屈折率・複屈折・消光角・多色性)を調べた。試料採取位置ごとにわずかずつではあるが明瞭かつ系統的に測定値が違っており、野外および鏡下での観察結果と併せて考えると次の結論に達する。

角閃石斑晶は地表に噴出後にオパサイト化が進み同時にその光学的性質が変化した。しかもその変化は溶岩の徐冷部において著しい。上記の事実は、溶岩内部では下底部などの急冷相に比べて長時間にわたって大気圧(Atmospheric pressure)に近い低圧下で高温の状態が維持されたために角閃石がより強く酸化したことを示唆している。

引用文献

- AOKI, K. (1963): The kaersutites and oxykaersutites from alkalic rocks of Japan and surrounding areas. *Jour. Petrol.*, vol. 4, p. 198-210.
- 新井房夫(1972): 斜方輝石・角閃石の屈折率によるテフラの同定—テフクロノロジーの基礎的研究—。第四紀研究, vol. 11, p. 254-269.
- BARNES, V. E. (1930): Change in hornblende at about 800°C. *Amer. Miner.*, vol. 15, p. 393-417.
- 河内洋佑(1972): スピンドル・ステージによる鉱物の光学性の決定。地球科学, vol. 26, p.

217-232.

- KOZU, S. and YOSHIKI, B. (1929): Thermo-optic studies of anomite-basaltic hornblende-quartz-andesite in association with biotite-common hornblende-quartz-andesite, which together form the volcano Sambe in Japan. *Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., Ser. 3*, vol. 3, p. 177-193.
- , ——— and KANI, K. (1927): Note on the study of the transformation of common hornblende into basaltic hornblende at 750°C. *Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., Ser. 3*, vol. 3, p. 143-159.
- KUNO, H. (1950): Petrology of Hakone Volcano and the adjacent areas, Japan. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 61, p. 957-1020.
- KURODA, N. (1971): Petrographical considerations on some lava domes of dacite containing hornblendes in north Izu, central Japan. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, vol. 19, p. 25-39.
- LARSEN, E. S., IRVING, J., GONYER, F. A. and LARSEN, E. S., 3RD (1937): Petrologic results of a study of the minerals from the Tertiary volcanic rocks of the San Juan region, Colorado. 5. The amphiboles. *Amer. Miner.*, vol. 22, p. 889-898.
- LEWIS, J. F. (1968): Tauhara Volcano, Taupo Zone. Part II, Mineralogy and petrology. *N. A. Jour. Geol. Geophys.*, vol. 11, p. 651-684.
- TANEDA, S. (1942): Petrographic notes on the volcanic rocks from Haruna, central Japan. Part 1. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Imp. Univ., Ser. D*, vol. 1, p. 43-68.
- UJIKE, O. (1972): Petrology of Tertiary calc-alkaline volcanic rock suite from north-eastern Shikoku and Shodo-shima Island, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 3*, vol. 11, p. 159-201.
- 山口佳昭 (1969) : 角閃石の加熱変化に関する実験的研究. 岩鉱, vol. 61, p. 158-167.