

# 極東ロシア、シュコートヴォ台地産黒曜石の全岩化学組成

弦巻 賢介<sup>1\*</sup>・金成 太郎<sup>2</sup>・小野 昭<sup>2</sup>

V. K. ポポフ<sup>3</sup>・A. V. グレベンニコフ<sup>3</sup>

杉原 重夫<sup>4</sup>・島田 和高<sup>5</sup>

## Whole-rock chemical composition of obsidian from the Shkotovo Plateau, Russian Far East

Kensuke Tsurumaki<sup>1\*</sup>, Tarou Kannari<sup>2</sup>, Akira Ono<sup>2</sup>,

Vladimir K. Popov<sup>3</sup>, Andrei V. Grebennikov<sup>3</sup>,

Shigeo Sugihara<sup>4</sup> and Kazutaka Shimada<sup>5</sup>

### 1. Introduction

Center for Obsidian and Lithic Studies, Meiji University (COLS), and the Far East Geological Institute at the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Vladivostok, Russia) have concluded an agreement for joint scientific research in the field of geological and archaeological obsidian. The directors of both institutes, Akira Ono and Alexander I. Khanchuk, have signed on, and the agreement came into effect on July 1st, 2011. A general survey of geologic obsidian sources at the Shkotovo Plateau in the Primorye region of the Russian Far East was jointly carried out from September 28th to October 2nd 2011, as the first step in the realization of the agreement. The research team members were A. Ono, COLS; S. Sugihara, Department of Geography, Meiji University; K. Shimada, Meiji University Museum; K. Tsurumaki, doctoral candidate, Department of Geography, Meiji University; V. K. Popov, and A. V. Grebennikov, Far East Geological Institute.

### 1. はじめに

明治大学黒曜石研究センターとロシア科学アカデミー極東支部極東地質学研究所は、地質学、考古学分野における黒曜石の共同科学調査に関する協定書を締結した。センター長小野昭と所長 Alexander I. Khanchuk が署名し、協定は2011年7月1日に発効した。

この協定にもとづき、2011年9月28日から10月2日にかけてロシア・沿海地方シュコートヴォ台地において黒曜石原産地の調査を実施した。短期間の巡検ではあるが、協定に基づく交流の端緒を切り開く調査であった。参加者は日本から小野 昭（明治大学黒曜石研究センター）、杉原重夫（明治大学名誉教授）、島田和高（明治大学大学博物館）、弦巻賢介（明治大学大学院）の4名、ロシアからは V. K. Popov と A. V. Grebennikov（極東地質学研究所）の2名である。

1 Graduate School of Geography, Meiji University

2 Center for Obsidian and Lithic Studies, Meiji University

3 Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

4 Emeritus Professor, Meiji University

5 Meiji University Museum

\* Corresponding author. K. Tsurumaki (tsurumk@gmail.com)

1 明治大学大学院文学研究科地理学専攻

2 明治大学黒曜石研究センター

3 ロシア科学アカデミー極東支部極東地質学研究所

4 明治大学名誉教授

5 明治大学博物館

\* 責任著者：弦巻賢介 (tsurumk@gmail.com)

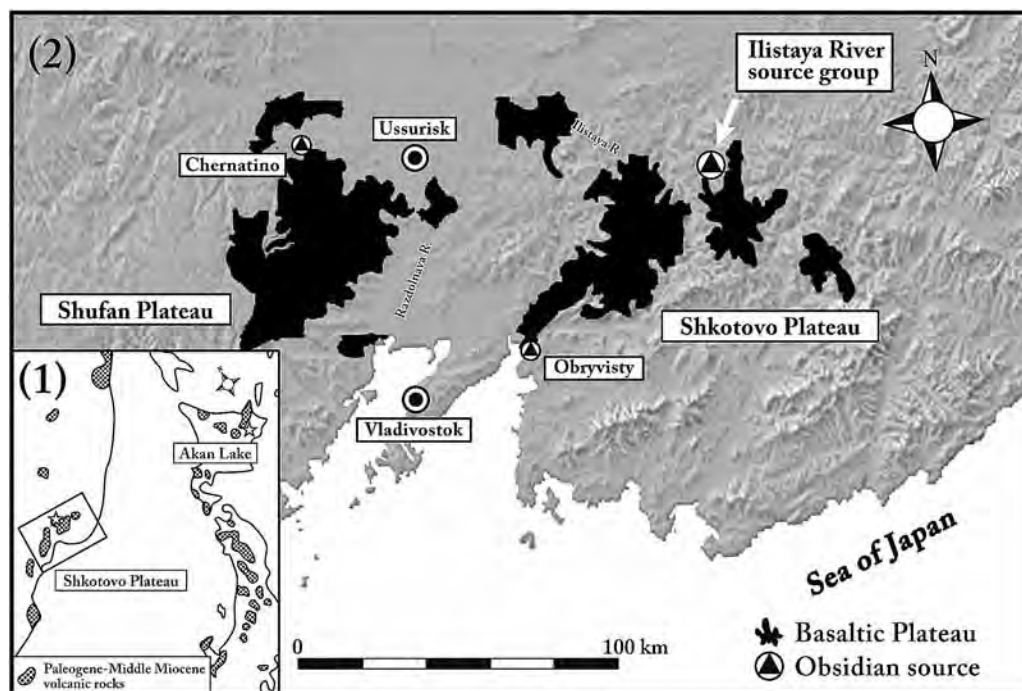


Fig. 1 Location map of the study area. 1: Distribution of Paleogene to middle Miocene volcanic rocks in Far East Asia. 2: Locality of obsidian sources in southern Primorye region. Samples are collected from the Ilistaya River source group.

The obsidian investigated in this paper was found on the Shkotovo and Shufan Plateaus (Fig. 1). These are basaltic plateaus distributed throughout the southern part of the Shikhote-Alin, which contains Early Pliocene to Eocene volcanic rocks widely spread over the eastern Eurasian Continent and Sakhalin Island.

Igneous rocks are distinguishable using their chemical compositions. For example, the subalkaline volcanic rocks are classified into basalt (45-52 wt%), basaltic andesite (52-57 wt%), andesite (57-63 wt%), dacite (63-70 wt%) and rhyolite (>70 wt%) on the basis of the  $\text{SiO}_2$  content (Le Bas et al. 1991).

The obsidians used as lithic raw material in prehistory generally have rhyolite compositions. This is because the obsidian will be enriched in phenocrysts and become brittle with decreasing the  $\text{SiO}_2$  content. Such the obsidian is unknappable, and difficult to make the sharp edge, which is not suited for the lithic raw material.

Contrary to this general character, the obsidian from the Shkotovo Plateau had been widely used from the Palaeolithic to the Bronze Age in the Primorye region because of its glassy textured quality, despite an andesitic composition (Doelman et al. 2008).

This paper focuses on the following four points: 1) observation of occurrences of Shkotovo obsidian, 2) analysis of whole-rock chemical composition using wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry (WDX),

今回、調査対象とした黒曜石は、ユーラシア大陸東部やサハリンに分布し、始新世から鮮新世初期に活動したシホテアリン火山帯の南部を構成する玄武岩-玄武岩質安山岩の溶岩台地に産出する (Fig. 1). 火山岩の化学組成はその特徴を表すものとされ、非アルカリ火山岩の場合では、基本的に  $\text{SiO}_2$  含有率によって玄武岩 (45~52 wt%), 玄武岩質安山岩 (52~57 wt%), 安山岩 (57~63 wt%), デイサイト (63~70 wt%), 流紋岩 (70 wt%以上) と区別される (Le Bas et al. 1991). 石器時代において利用される黒曜石は、流紋岩質のもので占められており、それよりも  $\text{SiO}_2$  に乏しい組成をもつ黒曜石は斑晶が多いため脆く、鋭利な破断面を作製できないことから石器石材としては不適である。しかし、今回調査したシュコートヴォ台地産の黒曜石は、安山岩質組成を有するにも関わらず、石器石材として利用可能な岩質を有していることから、旧石器時代から青銅器時代にかけてプリモリーエ地域で広く利用されてきた (Doleman et al. 2008). そのため、本稿では日・露共同科学調査の一端として以下の4点について報告をおこなう。1) シュコートヴォ台地産黒曜石の産状報告、2) 波長分散型蛍光X線分析装置 (WDX) による全岩化学組成の分析結果、3) 原産地推定のための基礎データとなる、エネルギー分散型蛍光X線分析装置 (EDX) による原産地判別分析結果、

and 3) outlining the basic data for sourcing obsidian artifacts using the results of energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EDX), 4) comparing the chemical composition of obsidian from the Akan area (Japan) with that of the Shkotovo Plateau (Russia).

All analyzed obsidian was collected during the above-mentioned research period, with the exception of one sample which was collected by one of the present authors, V. K. Popov, on another occasion. Based on our agreement for joint scientific research, the obsidian used for analysis had been officially brought by A. V. Grebennikov for the international workshop entitled “Methodological issues of obsidian studies and the standardization of geologic obsidian”, which was held at the COLS on November 5 and 6, 2011. All samples are being stored in the COLS.

## 2. Occurrences of obsidian

The Shkotovo and Shufan basaltic Plateaus near Vladivostok were formed between 7-13 Ma, and they are divided by the present Razdolnaya River (Chaschin et al. 2007). The K-Ar ages of the obsidian-containing lava suggest that it had formed ca. 13 Ma (Popov et al. 2009). This implies that the obsidian occurred during large-scale activities of lava plateau formations. According to Doelman et al. (2008), the lava flow in the Shkotovo Plateau is distributed over 4,536 km<sup>2</sup>, and that in the Shufan Plateau over 3,082 km<sup>2</sup>. These plateaus consist of basaltic to andesitic pillow lava and hyaloclastite or a thin lava flow. The hyaloclastites and pillow lavas are overlapped with massive and porous basaltic andesite lava flows of different thicknesses (from 1 to 7 m). On the Shufan Plateau, only a thin (<2cm) volcanic glass layer formed in the quenching crusts of pillow lava. This obsidian, therefore, has been evaluated as less suitable for the manufacturing of flake tools. Mukai (2011) described the obsidian of the Shufan Plateau and the Obryvisty obsidian in the southern tip of the Shkotovo Plateau near Vladivostok as unsuitable for making stone tools because of the low quality of its small-sized and high concentration of phenocrysts.

Glassy textured, fine quality obsidian with poor phenocrystic and conchoidal fractures is distributed throughout the upper region of the Ilistaya River, running southeast to northwest, located in the northern part of the Shkotovo Plateau. This region is referred to as the Ilistaya River obsidian source group in this paper.

Several outcrops of pillow lava and lava flow of about 20 m in thickness altogether are present in this region

4) 比較的類似する組成をもつシュコートヴォ台地産黒曜石と阿寒産黒曜石について化学組成を比較する。

分析した黒曜石はV. K. Popovが別の機会に採取した1点を除き全て調査中に採取したもので、2011年11月5・6日に黒曜石研究センターにおいて開催した国際ワークショップ「黒曜石の産地推定をめぐる方法論上の問題と試料の標準化をめぐる」の際にA. V. Grebennikovが研究交流協定に基づいて正式に日本に持参したものである。資料は黒曜石研究センターで保管している。

## 2. 黒曜石の産状

ウラジオストク近郊のシュコートヴォ台地とシュファン台地は、現在はラズルナヤ川に分断されているが、共に13～7Maにかけて噴出した玄武岩－岩部岩質安山岩の溶岩台地である(Chaschin et al. 2007)。黒曜石を含む溶岩からは約13MaのK-Ar年代値が得られており(Popov et al. 2009)、大規模な溶岩台地の形成活動の際に生成されたと考えられる。Doelman et al. (2008)によれば、シュコートヴォ台地は4,536km<sup>2</sup>、シュファン台地では3,082km<sup>2</sup>の範囲に溶岩が分布している。この溶岩流は枕状溶岩やハイアロクラスタイト、また薄いシート状の溶岩からなる。ハイアロクラスタイトや枕状溶岩は、層厚が異なる1～7mほどの塊状及び多孔質の玄武岩質安山岩の溶岩流に覆われる。シュファン台地では火山弾や枕状溶岩の縁部に2cm以下の薄層が形成されているのみで、石器石材として利用可能な状況ではないとされている。向井(2011)はシュファン台地産の黒曜石についてはサイズが小さい上に斑晶量が多く、石器石材として利用するには不適であるとしている。また、シュコートヴォ台地・ウラジオストク近郊のOrbervistiに見られる黒曜石も同様に石器石材として不適だとしている。

シュコートヴォ台地北部を刻むイリスタヤ川上流域では、斑晶に乏しく、貝殻状断口を形成する良質な黒曜石が産出しており、本稿ではイリスタヤ川原産地群と呼ぶ。ここでは、層厚20m程度の枕状溶岩(Fig. 2.1)や、その上部に堆積したと考えられるシート状溶岩の露頭が複数存在している。黒曜石は、枕状溶岩の周縁部分(Fig. 2.2)



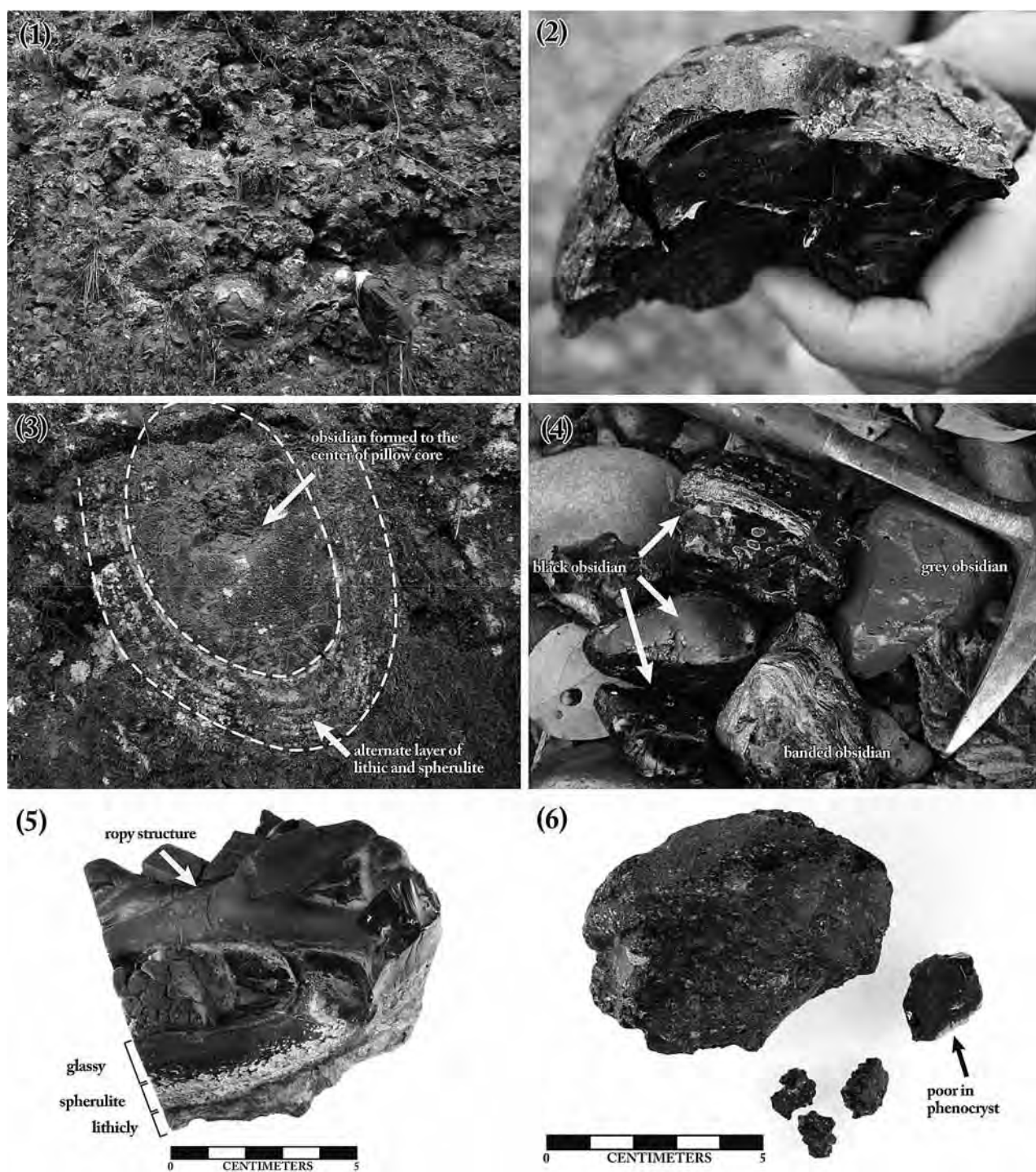


Fig. 2 Occurrence of obsidian from Ilistaya River source group and shape of obsidian from Akan area. 1: An outcrop of mafic obsidian at Ilistaya River source. 2: Obsidian formed around pillow lava. 3: Obsidian constituting the center of a pillow. 4: Obsidian gravel of Ivanovsky River. 5: Subaerial lava with a ropy structure. Obsidian is formed on the surface of lava flow. 6: Obsidian of Akan area.

(Fig. 2.1). Obsidian was generated in the quench zone of pillow lava rind (Fig. 2.2) and hyaloclastite that vitrified in the lower part of the pillow lava. In some of the outcrops, obsidian has formed even in the extreme central part of the pillow (Fig. 2.3), and the ropy structure that formed the surface part of the thin lava flow has also

や、その下部に発達するハイアロクラスタイト中など、急冷された部分に黒曜石が形成されている。一部の露頭では、枕状溶岩の中心部まで黒曜石化したもの (Fig. 2.3) や、陸上に堆積したシート状溶岩の表面部分が黒曜石化しているものもあり、パホイホイ溶岩に見られる縄状構

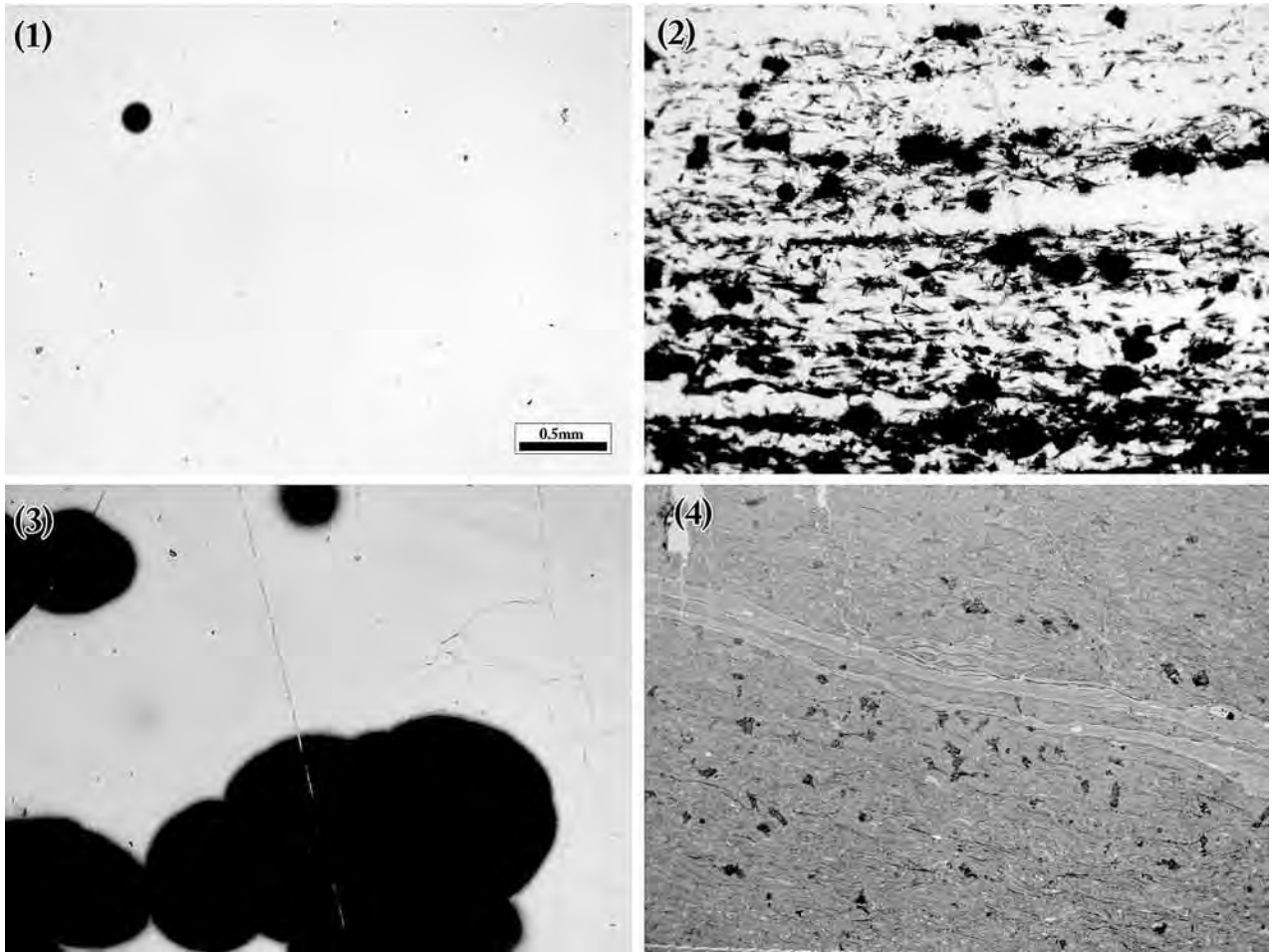


Fig. 3 Photomicrograph showing the Ilistaya River source group (1-3) and the Akan source (4). 1: Black color obsidian. Its volcanic glass is colorless. 2: The transition area from a glassy to a lithic zone of black obsidian includes more microlite and spherulite. 3: Grayish-blue color obsidian. Its volcanic glass indicates a brown color. 4: A eutaxitic texture.

distributed (Fig. 2.5). These surface structures are quite rare for rhyolitic lava. Although a glassy component is frequently formed in the quench part of basaltic and andesitic lava, it is an unusual phenomenon to have a very low content of phenocrysts and to be vitrified even in the central part of the pillow, with the thickness of the glassy parts sometimes exceeding 10 to 30 cm.

As for the coloration, black obsidian is abundant, but gray or blue-gray obsidian occurs only rarely in the Ilistaya River source group (Fig. 2.4). When observing a thin section under a polarizing microscope (Fig. 3), the groundmass consists of completely homogeneous volcanic glass in the glassy part, and the ratio of microlite to spherulite increases in the transition area to a lithic part. Blue and blue-gray obsidian have brownish volcanic glass under a microscope compared with black obsidian.

造を有したまま固結している黒曜石なども存在している (Fig. 2.5). このような表面形態は流動性に乏しい流紋岩質の黒曜石ではまず見られない。一般的な玄武岩質溶岩の急冷部にも、しばしばガラス質の部分が形成されるものの、ほぼ斑晶が無く、ガラス質部分が5~10cm、場合によっては30cm大の枕状溶岩が中心部までガラス化しているものは極めて珍しい。

色調については、漆黒のものと、灰色から青灰色を呈する比較的珍しい色調のものが認められる (Fig. 2.4). 岩石薄片の観察 (Fig. 3) では、石基は均質な火山ガラスからなり、結晶質部に遷移する部分では微晶の集合体や球顆の割合が多くなる特徴を示す。また、灰色や青灰色を示すものについては、漆黒なものに比べ、鏡下では火山ガラスが褐色であるという特徴がある。



### 3. Andesitic obsidian in Japan

Andesitic volcanic glass is found in the lava quench zone, and the chilled margins of dikes or pyroclastics have a largely phenocrystic and heterogeneous texture, and are frequently too small. Because of this, andesitic volcanic glass is not adequate for use in flaking stone tool production. Therefore, the obsidian in the Shkotovo Plateau is exceptional. However, andesitic obsidian of a quality good enough for making knapped stone tools is also available in the Japanese islands.

Post-caldera volcanoes have been formed to the south of the Akan caldera in eastern Hokkaido. Cobbles of glassy welded tuff (10-15 cm in diameter) are distributed from a volcanic fan formation in the north and at the eastern foot of the Furebetsu Volcano, which is one of the post-caldera volcanoes. The glassy cobbles have a lot of phenocrysts and a heterogeneous texture. It is highly probable that they have distributed over Tsuruoka in the Kushiro area near the Akan Lake, which has already been described by Mukai (2009). In rare cases, some of the cobbles have the characteristic features of low phenocrysts density and formation of glassy conchoidal fractures (Fig. 2.6). These coincide well with rhyolitic obsidian fracture characteristics. The Akan obsidian, therefore, has the eutaxitic and heterogeneous texture of volcanic glass when a thin section is viewed under a polarizing microscope (Fig. 3). These contextual phenomena can be evaluated as glassy welded tuff.

These obsidian resources may have been supplied from the nearby Furebetsu Volcano, the Akan caldera or the Kuccharo caldera. However, an estimation of the geologic resources in this obsidian is not yet clear because of their secondary re-deposited materials.

### 4. Quantitative analysis

Quantitative analysis involves the use of a wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometer (Rigaku, RIX1000) at the COLS. The major elements analyzed were Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K and P, and the trace elements were Rb, Sr, Y, Zr, Ba, Cr, Ni, V and Zn. Analytic values were calculated by the calibration-curve method. The details of standard samples and calibration-curve accuracy are based on Nagai et al. (2008). The 10 major elements were shown by wt%, the trace elements by ppm, and total iron could be converted to total FeO (i.e. FeO<sup>\*</sup>). The analyzed samples include 1) four samples (N1-3, N7) from the outcrops, 2) five samples collected

### 3. 日本で産出する安山岩質黒曜石

安山岩質組成の火山ガラスは通常、存在したとしてもスコリア中に認められるようなごく小さなものや、岩脈や溶岩周縁部の急冷縁に形成される、斑晶が多く、脆いものしか認められない。そのため、石器石材としては適していない。したがって、シュコートヴォ台地産の黒曜石のような例は極めて珍しいといえる。しかし、石器製作が可能な品質を有する安山岩質黒曜石は日本においても認められる。

北海道東部、阿寒カルデラの南方には後カルデラ火山が形成されているが、このうち、フレベツ岳の北麓や東麓斜面に分布する火山麓扇状地堆積物中からは、10～15cm程度のガラス質熔結凝灰岩の亜円礫が産出する。これらの多くは斑晶が多く、脆いもので占められ、その特徴から向井（2009）で報告されている釧路地区・鶴丘で採取できるものと同一である可能性が高い。しかし、そのうちに2～3cm程度で斑晶に乏しく、貝殻状の破断面をもつ岩石がわずかに認められる（Fig. 2.6）。これらは一見すると黒曜石とは見分けが付かないが、鏡下では溶結組織が明瞭であり、極めて斑晶に乏しいガラス質熔結凝灰岩であるといえる（Fig. 3）。これらの給源については近傍のフレベツ岳、あるいは熔結凝灰岩を噴出している阿寒カルデラ、屈斜路カルデラなどが考えられるが、2次堆積物であるため給源の推定は困難である。本稿では阿寒産黒曜石についても化学組成分析を実施し、シュコートヴォ台地産黒曜石と比較した。

### 4. 定量分析

定量分析にあたっては、明治大学黒曜石研究センターの波長分散型蛍光X線分析装置（リガク製、RIX1000）を用いた。測定元素は主要成分Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Pと微量成分Rb, Sr, Y, Zr, Ba, Cr, Ni, V, Znとした。定量値は検量線法によって求めた。検量線作製に用いた標準試料や検量線確度の詳細は長井ほか（2008）による。分析結果は主要10成分を酸化物wt%の形で表し、その際Fe酸化物は全鉄（FeO<sup>\*</sup>）とした。微量成分についてはppmで表した（Table 1）。

分析した試料は、イリスタヤ川原産地群のうち、露頭

Table. 1 Contents of major oxides (wt%) and trace elements (ppm) using WDX from the Ilistaya River source group and Akan source.  $\text{FeO}^* = 0.9\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ .

Locality	Ilistaya-4a	Ilistaya-4a	Ilistaya-4	Ilistaya-3	Ilistaya-3	Ilistaya-3	Ilistaya-1	Ivanov-sky R.	Ivanov-sky R.	Ilistaya-2	Akan Lake	Akan Lake
Sample No.	N1	N2	N3	N4a	N4b	N4c	N5	N6a	N6b	N7	HD090729-4-1	HD090729-4-3
Occurrence	pillow lava(core)	pillow lava(rim)	hyaloclastite	gravel	gravel	gravel	lava	gravel	gravel	subaerial lava	gravel	gravel
Color	black	black	black	black	black	blue gray	black	black	blue gray	blue gray	black	black
Major elements wt%												
SiO <sub>2</sub>	56.20	56.04	55.22	56.84	56.74	56.15	56.63	56.07	56.62	56.71	60.27	60.97
TiO <sub>2</sub>	1.35	1.46	1.45	1.37	1.36	1.37	1.61	1.36	1.37	1.41	1.46	1.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.03	15.09	14.83	15.21	15.12	14.93	15.01	15.09	15.15	15.17	14.85	14.90
FeO*	9.84	10.34	10.25	9.93	9.81	10.10	9.75	10.07	10.14	10.11	7.61	7.41
MnO	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14	0.20	0.20
MgO	5.61	5.96	5.94	5.67	5.61	5.65	5.60	5.78	5.71	5.66	2.27	2.19
CaO	7.45	7.75	7.70	7.48	7.46	7.47	7.39	7.60	7.52	7.43	5.96	5.76
Na <sub>2</sub> O	3.14	2.90	2.84	3.06	3.12	3.13	3.16	3.06	3.07	3.15	3.37	3.23
K <sub>2</sub> O	0.48	0.68	0.69	0.48	0.47	0.47	0.51	0.55	0.47	0.45	1.52	1.87
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.21	0.21	0.17	0.16	0.17	0.21	0.18	0.17	0.17	0.55	0.53
Total	99.42	100.56	99.25	100.33	99.99	99.57	100.02	99.90	100.36	100.40	98.08	98.47
Trace elements ppm												
Rb	9	9	11	6	6	6	4	8	6	5	39	40
Sr	292	329	332	288	290	293	347	299	290	300	339	338
Y	27	25	24	26	25	24	27	27	27	27	38	42
Zr	77	91	92	76	75	76	93	78	77	76	118	122
Ba	145	203	204	152	140	143	170	167	145	139	392	401
Cr	192	225	187	198	204	198	196	223	192	223	37	27
Ni	108	132	130	106	106	110	102	115	107	111	9	9
V	142	151	152	149	141	143	157	144	150	143	76	76
Zn	102	98	102	102	100	101	104	101	103	103	95	98

from river gravel around an outcrop in the Ilistaya River source group, 3) one sample from outcrop (N5), and 4) two samples from gravel around the Akan Lake (HD090724-4).

The analyzed results are shown in Table 1, which also shows SiO<sub>2</sub> variation diagrams (Fig. 4) plotting the chemical composition of obsidian from the Shkotovo Plateau and the Akan area. In addition, obsidian sources in Hokkaido and Tohoku district, obtained by Kannari et al. (2010) are also plotted. Based on these results, obsidian from the Shkotovo Plateau has a basaltic andesite composition (SiO<sub>2</sub> = 55.6-56.7 wt%), and is categorized as Low-K series by Gill (1981). Although the obsidian collection points, occurrences, and colorations are different, the chemical compositions of the samples in the Shkotovo Plateau are similar. The analysis resulted in nearly the same outcome as preceding studies using an electron probe micro-analyzer (EPMA) by Popov et al. (2009) and Wada et al. (2011). These results suggest that a homogeneous magma is involved in the generation of obsidian. Variations in color, one of the characteristics of obsidian from the Shkotovo Plateau, have resulted from different factors. For instance, Popov et al. (2009) indicated that volcanic glasses appearing to be black or another color, such as blue-gray or gray, have different microscopic inner textures when examined under a SEM.

から直接採取した試料4点 (N1-3, N7) と、周辺の河床礫の試料5点 (N4, N6), また露頭より直接採取した原石1点 (N5) に加え、阿寒湖周辺に分布する黒曜石転石2点 (HD090729-4) である。

SiO<sub>2</sub> 変化図上 (Fig. 4) に今回の分析結果に加え、北海道・東北における主要な黒曜石の分析結果 (金成ほか 2010) をプロットした。シュコートヴォ台地産黒曜石の SiO<sub>2</sub> は 55.6~56.7wt% と 1wt% 前後の幅を持ち、玄武岩質安山岩の組成を示す。Gill (1981) による区分では低カリウム系列に属する。それぞれ若干採取地が異なる上、産状や色調はバリエーションに富んでいるものの、SiO<sub>2</sub> 変化図上ではおおむね同一の領域にプロットされており、大きな組成の違いは認められない。Popov et al. (2009) や Wada et al. (2011) では電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) を用いた火山ガラスの主成分組成分析を実施しており、これらのデータと比較しても大きな違いはない。これらの結果からは、黒曜石の生成に関与したマグマは同一であり、シュコートヴォ台地産黒曜石の特徴の一つである色調のバリエーションの生成には、別の要因が存在していることを示している。Popov et al. (2009) における走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた高倍率観察では、漆黒のものに比べ、青灰色、灰色を呈する

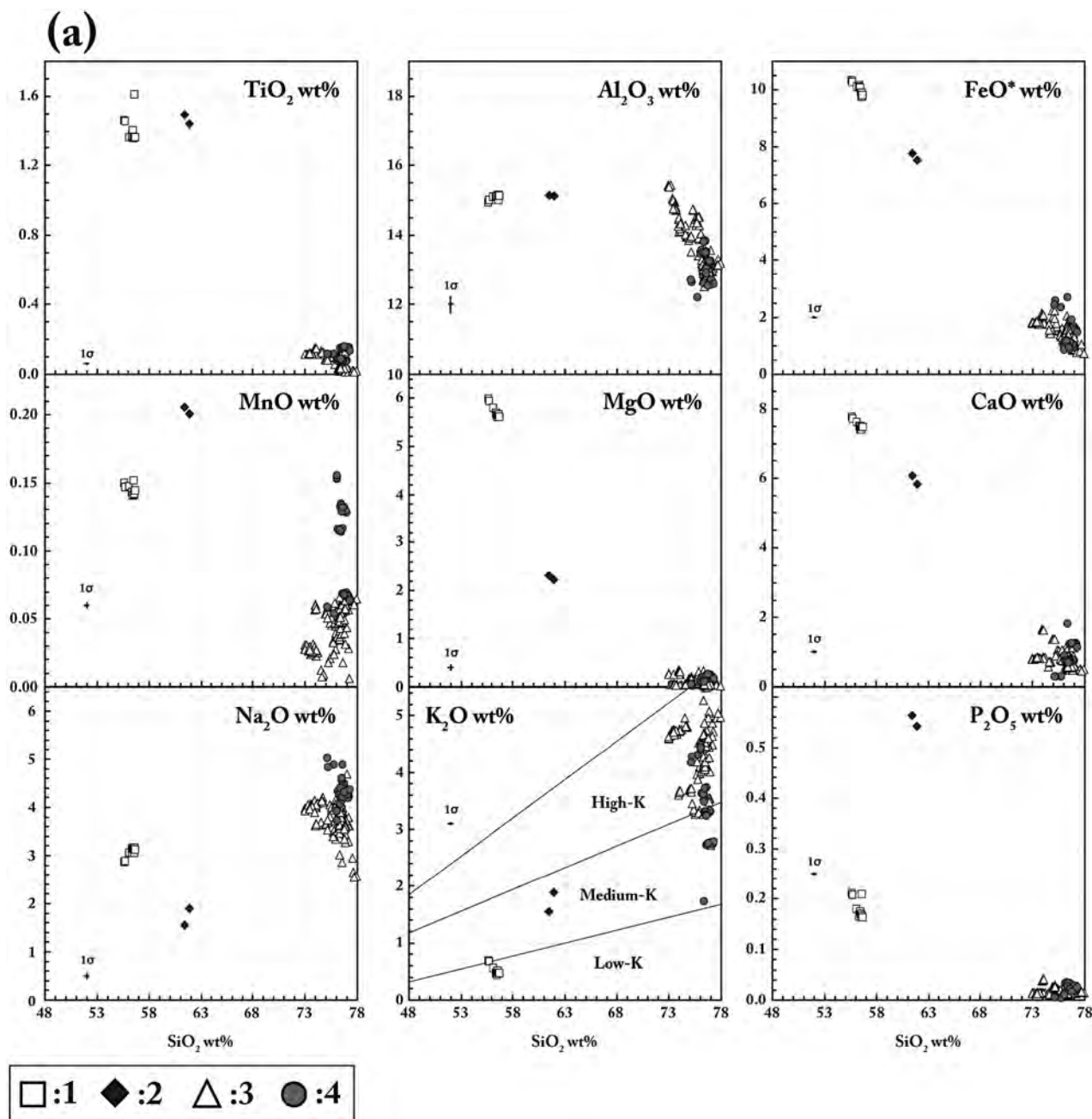


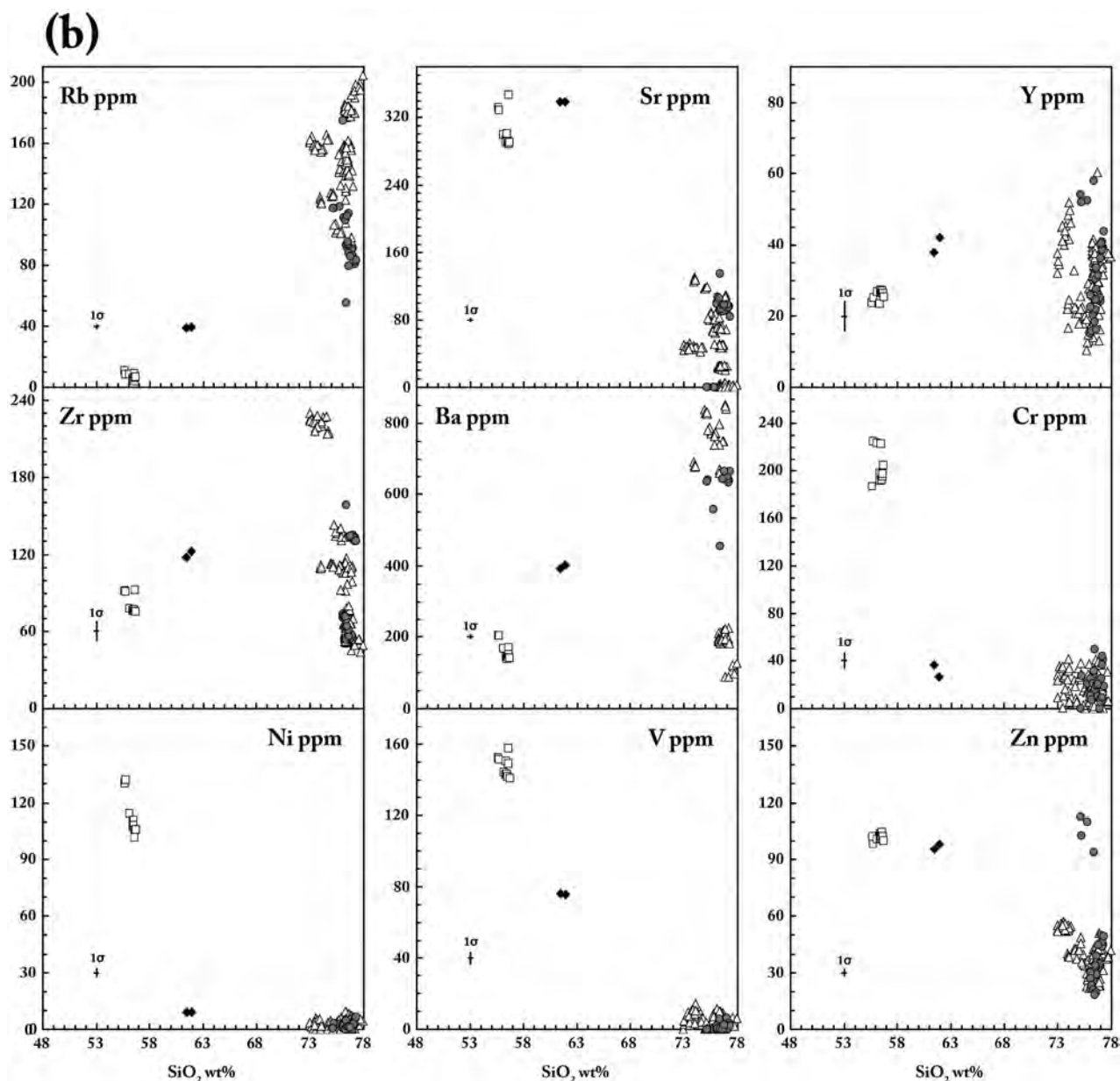
Fig. 4  $\text{SiO}_2$  variation diagrams for obsidian of the Ilistaya River source group, the Akan source and representative samples of obsidian in Hokkaido and Tohoku districts (Kannari et al. 2010). (a): Major oxides (b): Trace elements. Legend: 1: Ilistaya River source group, 2: Akan source, and 3: Hokkaido district 4: Tohoku district. Classification of potassium content series after Gill (1981).

The obsidian from the Shkotovo Plateau has a much more mafic composition than obsidian sources in Hokkaido and Tohoku districts (Kannari et al. 2010), which are lower in  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , and Rb, and are rich in  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}^*$ ,  $\text{MgO}$ , Cr, Ni and V. The Akan obsidians are characterized by more felsic composition ( $\text{SiO}_2=60.3\text{--}61.0$  wt.%) than obsidian from the Shkotovo Plateau.

ものにつれ石基組織が異なっていることが示されている。

金成ほか (2010) で報告されている東北・北海道の黒曜石試料と比較すると, Siに乏しく, Ti, Fe, Mg, Cr, Ni, Vに富み, 塩基性である。一方, 阿寒湖の試料については,  $\text{SiO}_2 = 60.3\sim 61.0\text{wt}\%$ 程度の安山岩質組成であり, シュコトヴォ台地産のものと比較するとやや酸性である。





## 5. Qualitative analysis

It is common to need a non-destructive method for analyzing archaeological stone tools or artifacts. The analytic method is the qualitative (semi-quantitative) method of direct X-ray irradiation on stone tools (Higashimura 1986; Mochizuki 1997). The analytic instrument used at the COLS is an energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer (JEOL, JSX-3100s). The analyzed samples were the same ones from the quantitative analysis. The measurement method is based on Kannari et al. (2010). Analyzed line are all K, in which the major elements analyzed were Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na and K, and the trace elements were Rb, Sr, Y and Zr.

## 5. 定性分析

遺跡から出土した石器などは，通常，非破壊での測定が要求される．そのため，石器に直接X線を照射する定性（半定量）分析が行われている（東村1986; 望月1997）．分析にあたっては，明治大学黒曜石研究センターのエネルギー分散型蛍光X線分析装置（日本電子製，JSX-3100s）を使用し，定量分析に使用した試料と同じ試料を用いて定性分析をおこなった．定性分析の詳細は金成ほか(2010)に詳しい．測定元素は，主成分元素はSi, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, Kの計9元素，微量元素はRb, Sr, Y, Zrの計4元素の合計13元素とし，これらのK線の強

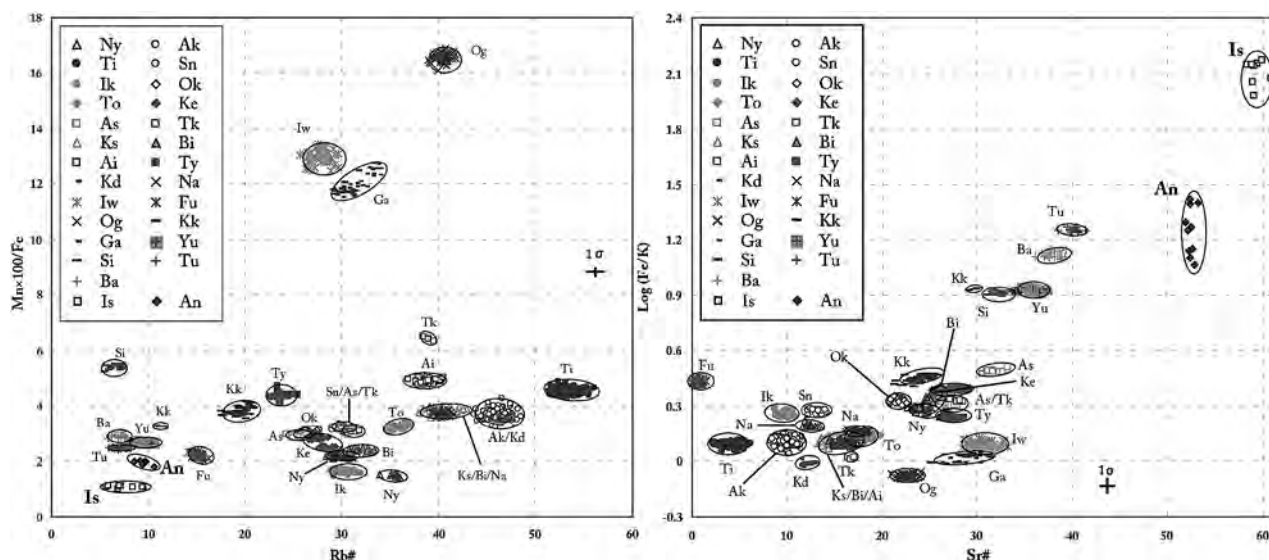


Fig. 5 Discrimination diagrams of the Ilistaya River source group, the Akan source, and representative samples of obsidian sources in Hokkaido and Tohoku districts (Kannari et al. 2010).

Abbreviations: Ny, Nayoro; Ak, Akaishiyama; Ti, Tokachi-Ishizawa; Sn, Sanabuchi; Ik, Ikutahara; Ok, Oketo; To, Tokoroyama; Ke, Kesyomappu; As, Asahikawa; Tk, Takikawa; Ks, Kamishihoro; Bi, Biman; Ai, Akaigawa; Ty, Toyoura; Kd, Kodomari; Na, Nishi-Aomori; Iw, Iwakisan; Fu, Fukaura; Og, Oga; Kk, Kitakamigawa; Ga, Gassan; Yu, Yunokura; Si, Sikama; Tu, Tsuchikura; Ba, Babamachi-Kita; Is, Ilistaya River source group; An, Akan.

Scatter plots were created using the parameters of Rb# as  $Rb \text{ intensity} \times 100 / (A = Rb \text{ intensity} + Sr \text{ intensity} + Y \text{ intensity} + Zr \text{ intensity})$ , Sr# as  $Sr \text{ intensity} \times 100 / A$ , Mn intensity  $\times 100 / Fe \text{ intensity}$ , and  $\text{Log} (Fe \text{ intensity} / K \text{ intensity})$  from Mochizuki (1997), which were calculated by measuring intensities (Fig. 5).

The values of obsidian in the Shkotovo Plateau and the Akan area were concentrated in individually different areas compared to the obsidian sources in Hokkaido and Tohoku districts (Kannari et al. 2010). The explicit differentiation shows an application of potential for the transregional sourcing of obsidian stone tools from between Primorye and the Japanese Islands.

## 6. Conclusion

The obsidian in the Shkotovo Plateau has a basaltic andesite composition. However, it has almost no phenocrysts and a groundmass similar to rhyolitic obsidian with homogeneous volcanic glasses. This suggests that obsidian in the Shkotovo Plateau was produced by different processes when compared to the Akan obsidian of welded tuff. The shapes of the lava flow including obsidian in the Shkotovo Plateau are pillow lava and pahoehoe. This suggests that the Shkotovo obsidian was transformed in an environment of super cooling conditions from mafic magma with a high temperature and

度を測定した。このようにして得た測定値をもとに、望月 (1997) に準じて Rb 分率  $\{Rb \text{ 強度} \times 100 / (A = Rb \text{ 強度} + Sr \text{ 強度} + Y \text{ 強度} + Zr \text{ 強度})\}$ , Sr 分率  $(Sr \text{ 強度} \times 100 / A)$ , Mn 強度  $\times 100 / Fe \text{ 強度}$ ,  $\text{Log} (Fe \text{ 強度} / K \text{ 強度})$  を求め、判別図を作製した (Fig. 5)。

判別図では、東北・北海道地域に産出する黒曜石のデータ (金成ほか 2010) も併せてプロットした。他原産地の黒曜石の分析値と比較すると、シュコートヴォ台地産黒曜石や阿寒産黒曜石はそれぞれ独立した異なる領域にプロットされ、他地域の黒曜石とは明瞭に判別可能である。したがって遺跡出土の石器についても同様の分析を行うことで、原産地推定が可能になると考えられる。

## 6. おわりに

今回採取した試料は玄武岩質安山岩の組成を有しているながら、流紋岩質の黒曜石と同様、極めて斑晶に乏しく、石基が均質なガラスで構成される。これは溶結凝灰岩である阿寒湖の黒曜石とは形成過程が異なることを示している。また、溶岩流の形態は枕状溶岩やパホイホイ溶岩であることから、温度が高く、流動性に富む状態で流出したことが推察される。シュコートヴォ溶岩台地が形成された際には、溶岩が結晶化せず、過冷却されるような環境下で火山活動がおこなわれていたと考えられる。し

low viscosity, and is a rare case in the world. Consequently, questions still remain for further research and discussion regarding the elucidation of obsidian generation processes.

#### Acknowledgments

This research was carried out by the MEXT\*-supported Program for the Strategic Research Foundation at Private Universities, 2011-2015; Project title: "Historical Variation in Interactions between Humans and Natural Resources: towards the Construction of a Prehistoric Anthropography," headed by Prof. Dr. Akira Ono, Meiji University. We are especially grateful to Mr. Ivan V. Bragin for his support in the field. Thanks are also due to Dr. Valentina A. Solyanik for her explanation at the Mineralogical Museum of the Far East Geological Institute, and Dr. Alexander N. Popov for his kind guidance at the Scientific Museum of the Far Eastern Federal University. And Dr. Nikolay A. Kluev from the Institute of History, Archaeology and Ethnography for fruitful discussion on studying archeological obsidian from Primorye Region. We also wish to thank our translators, Ms. Darya A. Dordzeva and Mr. Vladimir A. Grebennikov from the Far Eastern Federal University. Finally, we would like to thank Mr. Toru Shibata, Tokai University; Mr. Hironobu Tsuchihashi, former Meiji University; and Ms. Tomomi Minezaki and Ms. Chiaki Irie, COLS, for their cooperation.

\*MEXT: Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan

かし、シュコートヴォ台地産黒曜石のような例は世界的にみても稀な例であり、その生成過程を解明するためには、今後さらなる検討が必要であろう。

#### 謝 辞

今回の調査は、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（平成23年～平成27年）プロジェクト研究代表者：小野 昭「ヒト－資源環境の歴史の変遷に基づく先史時代人類誌の構築」の助成によって行われたものである。現地では、Ivan V. Bragin氏、極東地質学研究所鉱物学博物館で説明頂いたValentina A. Solyanik氏、極東連邦大学博物館のAlexander N. Popov氏、通訳などでお世話頂いた極東連邦大学の学生であるDarya A. Dordzeva氏、Vladimir A. Grebennikov氏の皆様にご支援を頂いた。また、極東地質学研究所歴史民族学研究部門のNikolay A. Kluev氏にはプリモリーエ地方産黒曜石について有益な議論をして頂いた。加えて、試料作製等ご協力頂いた考古石材研究所の柴田 徹氏、元明治大学文学部嘱託職員の土橋広宣氏、明治大学黒曜石研究センターの峯崎智美氏、入江千晶氏の皆様に感謝申しあげる。

\*本資料報告は、2011年7月1日に発効した明治大学黒曜石研究センターとロシア極東地質学研究所との共同科学調査協定書に基づき、調査参加者全員を著者とする事と、両国参加研究者が理解可能な言語で記す必要から、本紀要の体裁とは異なる両言語併記の形をとった。



## References

- Chashchin, A. A., Martynov, Yu. A., Rasskazov, S. V., Maksimov, S. O., Brandt, I. S. and Saranina, E. V. 2007 Isotopic and geochemical characteristics of the late miocene subalkali and alkali basalts of the southern part of the Russian far east and the role of continental lithosphere in their genesis. *Petrology* 15(6): 620-644.
- Doelman, T., Torrence, R., Popov, V., Ionescu, M., Kluyev, N., Sleptsov, I., Pantyukhina, I., White, P. and Clements, M. 2008 Source selectivity: An assessment of volcanic glass sources in the Southern Primorye region, Far East Russia. *Geoarchaeology* 2(2): 243-273.
- Gill, J. B., 1981, Orogenic andesites and plate tectonics. *Springer-Verlag*, 390p.
- Higashimura, T. 1986 Sekki sanchi suitehou [The Way of Sourcing Stone Implements]. New Science Co, 89p (in Japanese). [『東村武信：石器産地推定法』ニュー・サイエンス社]
- Kannari, T., Sugihara, S., Nagai, M. and Shibata, T. 2010 Quantitative and qualitative analysis of obsidian sources in Hokkaido and Tohoku district. *Archaeology and Natural science* 60: 57-81 (in Japanese with English abstract). [金成太郎・杉原重夫・長井雅史・柴田 徹「北海道・東北地方を原産地とする黒曜石の定量・定性分析」『考古学と自然科学』]
- Le Bas, M. J and Streckeisen, A. L. 1991 The IUGS systematics of igneous rocks. *Journal of the Geological Society, London* 148: 825-833.
- Mochizuki, A. 1997 Identification of sources of obsidian found in Chubu and Kanto districts by X-Ray Fluorescence Analysis. *Advances in X-ray Chemical Analysis Japan* 28: 157-168 (in Japanese with English abstract). [望月明彦「蛍光X線分析による中部・関東地方の黒曜石産地の判別」『X線分析の進歩』]
- Mukai, M. 2009 Kushiro chiiki kara sanshutu suru kokuyouseki garasu no kagaku sosei [Chemical compositions of obsidian glasses produced from Kushiro Area] *Bulletin of the Asahikawa City Museum & Asahikawa Science Center* 1: 27-38 (in Japanese). [向井正幸「釧路市域から産出する黒曜石ガラスの化学組成」『旭川市博物館科学館研究報告』]
- Mukai, M. 2011 Roshia renpou purimorie chihou kara sanshutsu suru Mafic Obsidian ni tsuite. [Mafic obsidian from the Primorye region, Russian Far East] *Bulletin of the Asahikawa City Museum & the Asahikawa Science Center* 4: 1-8 (in Japanese). [向井正幸「ロシア連邦プリモリーエ地方から産出するMafic Obsidianについて」『旭川市博物館科学館研究報告』]
- Nagai, M., Shimano, T. and Sugihara, S. 2008 Implementation and evaluation of routine measurements of major and trace element contents in igneous rock samples by X-ray fluorescence spectrometry: the fundamental study for stone sources of lithic tools. *Bulletin of Meiji University Museum* 13: 69-80 (in Japanese with English abstract). [長井雅史・嶋野岳人・杉原重夫「蛍光X線分析装置による火成岩の主成分・微量成分ルーチンの作製とその評価—石器石材の産地推定に関する基礎的研究—」『明治大学博物館研究報告』]
- Popov, V. K., Solyanik, V. A. and Fedoseev, D. G. 2009 Decorative volcanic glasses from hyaloclastites of the Shkotovo basaltic plateau (Primorye, Russia). *The Journal of the Gemological Association of Hong Kong*, XXX: 51-56.
- Wada, K., Popov, V. K., Mukai, M., Izuho, M., Popov, A. and Sano, K. 2011 Occurrence and microtexture of the mafic obsidian from the late Miocene basaltic plateau in the Primorye region, Russia. *Japan Geoscience Union Meeting 2011, Abstract SVC048-P09*.

(2013年1月10日受付／2013年1月30日受理)