

北海道十勝地方から産出する黒曜石礫の硬度

乙幡 康之¹⁾

The Rock Hardness of Obsidian Gravel from Tokachi, Hokkaido, Japan

Yasuyuki OPPATA¹⁾

はじめに

十勝地方から産出する黒曜石は、化学組成を定量的に測定し分類する試みや、それによる産地同定の研究から、十勝Ⅰ（上士幌系）と十勝Ⅱ（美蔓系）の2タイプに分類されている（Wada et al. 2014, 金成ほか 2010, 向井・和田 2004, 吉谷 2004, 藁科・谷島 1992 など）。また居辺川周辺では上記のタイプに属さない十勝Ⅲタイプも報告されている（乙幡ほか 2019）。

各黒曜石の特徴は以下の通りである。十勝Ⅰ（図 1a）は、漆黒色でガラス光沢を呈するとともに貝殻状断口を持つ（向井・和田 2002）。一次原産地は上士幌町十勝三股 13 の沢及びタウシュベツ川流域と考えられている（吉谷ほか 1999）。本黒曜石から $2.15 \pm 0.25\text{Ma}$, 及び $2.12 \pm 0.05\text{Ma}$ の K-Ar 年代（Wada et al. 2014）が得られている。

十勝Ⅱ（図 1b）は、化学組成が異なること、漆黒色でにぶい光沢を持つことで十勝Ⅰから区分される（向井・和田 2002）。また $0.2 \sim 1\text{mm}$ の斜長石などの斑晶を含むのが特徴である（金成ほか 2010）。本黒曜石から 0.75 ± 0.02 の K-Ar 年代（Wada et al. 2014）が得られているが、原産地は明らかになっていない。

上記のタイプの他に、居辺川では十勝Ⅲ（図 1c）の黒曜石が確認されている（乙幡ほか 2019）。本黒曜石は吉谷（2002）による十勝Ⅱ-③及び所属不明「？」とされたタイプであり、分析数は少ないが元素及び微量元素の化学組成から十勝Ⅰ及び十勝Ⅱとは異なる組成を示すことが明らかになっている。十勝Ⅲは灰黒色を呈し、斜長石などの斑晶を含むため、十勝Ⅱとやや類似するが、硬質の黒曜石である。また原産地及び年代は明らかになっていない。

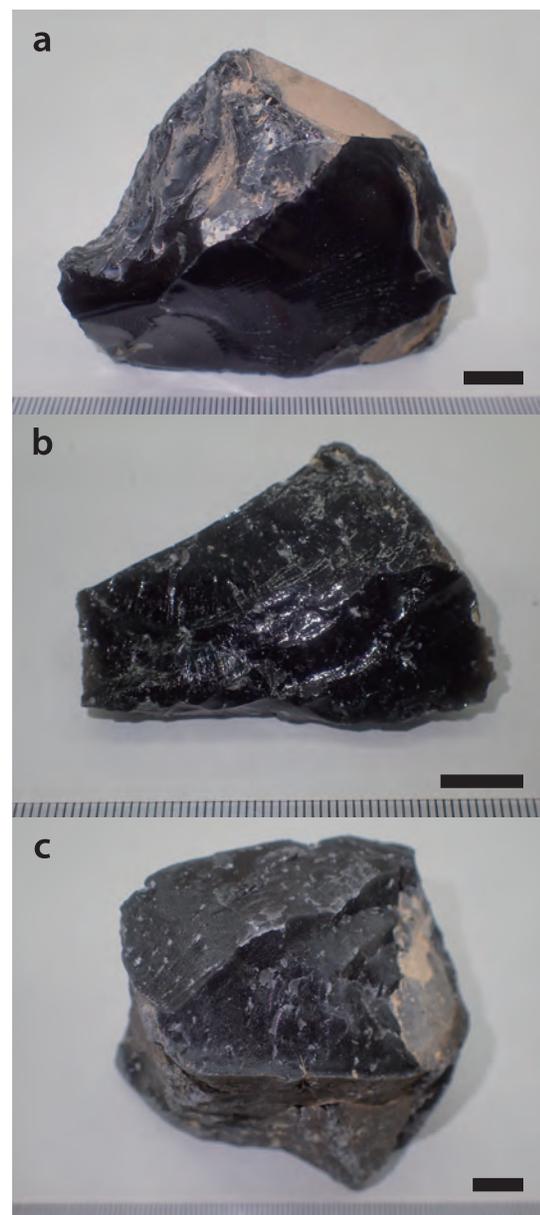


図 1. 十勝地方の黒曜石（乙幡ほか 2019 による）。

a : 十勝Ⅰ, b : 十勝Ⅱ, c : 十勝Ⅲ (scale=1cm)

1) ひがし大雪自然館 〒080-1403 北海道河東郡上士幌町字ぬかびら源泉郷 48-2
Higashitaisetsu Nature Center 48-2 Nukabira-gensenkyo, Kamishihoro-cho, Kato-gun, Hokkaido 080-1403 Japan

以上のことから、十勝地方には化学組成の違いにより大きく3タイプの黒曜石が存在し、十勝Iと十勝IIに関しては、礫の分布も明瞭に異なることが明らかになっている(乙幡ほか 2019, 向井・和田 2004)。またこれらは色調・光沢・斑晶の有無等に注目すれば野外でも識別可能である。一方、十勝IIIの外見は、十勝IIと類似するが、礫表面の風化及び岩石の硬度が明らかに異なる。そのことから、本研究は十勝地方から産出する3タイプの黒曜石礫の硬度に着目し、これを定量的に計測し各タイプの黒曜石の特徴を明らかにすることを目的とした。

調査地域及び調査方法

計測に使用した十勝I, II, IIIタイプの黒曜石礫は、5地点から採集した(図2)。十勝I及び十勝IIIは、Loc. 1でそれぞれ5個採集したが、十勝IIについては、一地点で複数の黒曜石礫を得ることが困難であるため、複数地点で黒曜石礫を採集した。即ちLoc. 2及びLoc. 4でそれぞれ2個、Loc. 3とLoc. 5でそれぞれ1個を得た。

黒曜石礫は、重量(g)、比重、長径・中径・短径(mm)、形状(Zingg 1935)、円磨度及び球形度(Krumbein

1941)を計測した。

黒曜石礫の硬度を知るために、プロセク社製エコーチップ3硬さ試験機 equotip3 (以下、エコーチップと呼ぶ、図3)を用いて礫表面のエコーチップ反発値(硬度)を測定した。これは球状テストチップを有するインパクトボディが、一定のバネの力で材料の表面を打撃する打撃速度とその反発速度を計測して硬さの指標L値を求めるもので、L値はインパクトボディの反発速度を打撃速度で割った値を1000倍した数値として定義される。そのためL値は0~1000の範囲の整数として表現される(青木・松倉(2004a))。

黒曜石礫の硬度は、青木・松倉(2004b)に従い、礫の表面を1回のみ打撃し次々と移動させながら打撃する方法(以下、単打法)と、同一点を連続打撃する方法(以下、連打法)をおこなった。一つのサンプルに対し10点の単打及び20回の連打によって測定した。単打法により得られた反発値を平均し L_s 、連打法の中から高値3個の平均値を L_{max} とした。

岩石の硬度測定には様々な計測機器が知られているが、エコーチップの利点は、岩石の大きさに制約されないこと(小さな岩石でも測定可能)、方向性を問わず測定方向に制約がないこと、得られるデータに再現

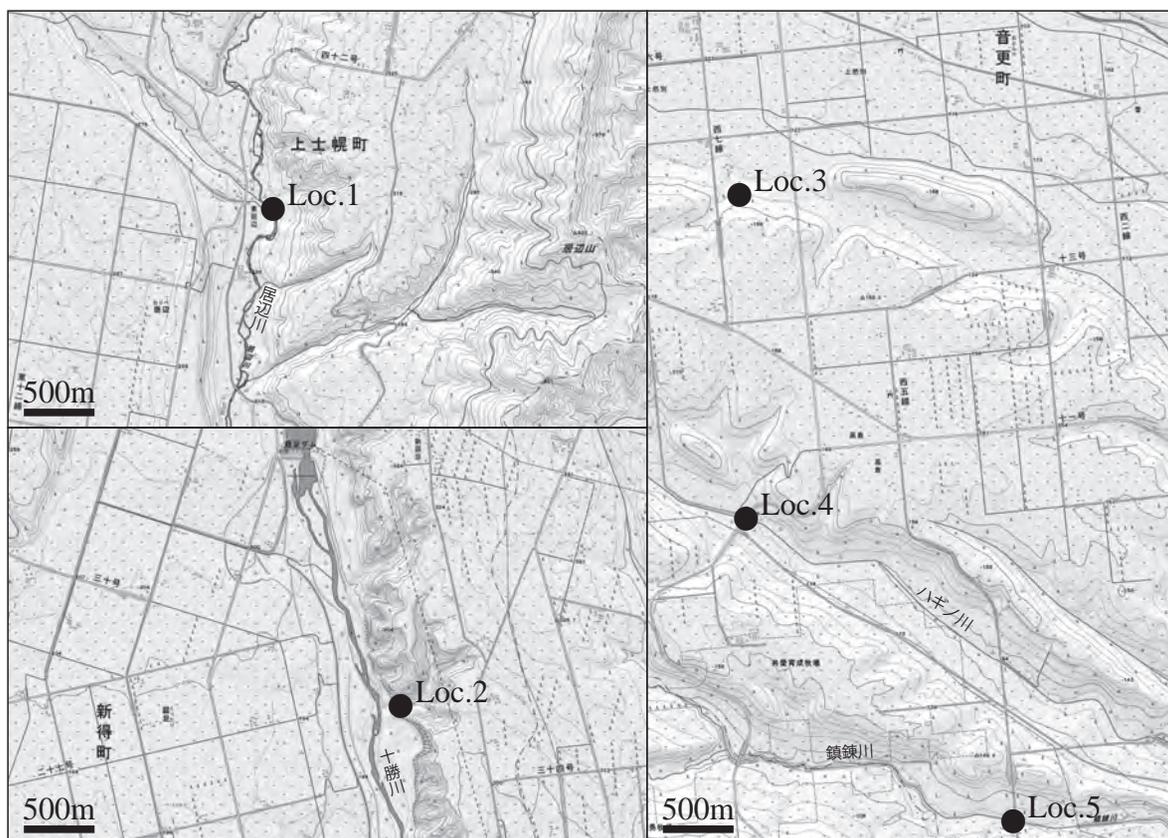


図2. 黒曜石礫の採集地点(地理院地図を使用)

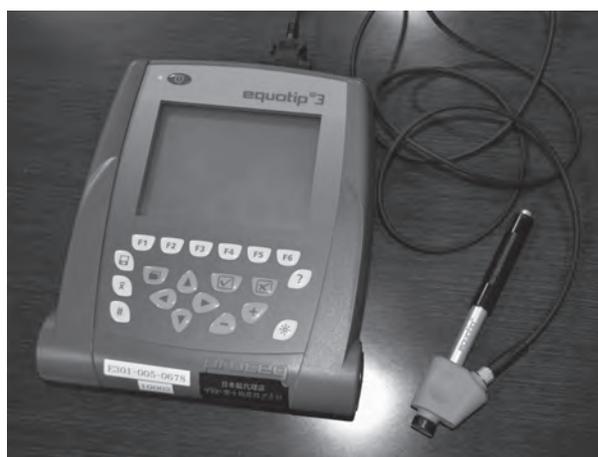


図 3. エコーチップ硬さ試験機

性があり、誰が試験しても容易にデータが得られること、そして打撃エネルギーが 11N/mm と、シュミットハンマーの約 200 分の 1 程度と極めて弱いため、岩石表面はほとんど損傷を受けず、より強度の小さな岩石に対しても非破壊で測定可能である（青木・松倉 2004a）。

結果と考察

1. 礫の形状

各黒曜石の計測値は表 1 の通りである。十勝 I, II, III の比重の平均は、それぞれ 2.36, 2.35, 2.36 でありタイプによる差は見られなかった。同一地点（Loc. 1）で採集した十勝 I と十勝 III の礫を比較すると、長径の平均はそれぞれ 74.8, 111.2mm, 円磨度は 0.82, 0.50 であり、十勝 III は十勝 I に比べて礫径が大きく、かつ低い円磨度を持つ。このことは十勝 III の一次原産地が、十勝 I のそれよりも近距離に存在するか、もしくは岩石の硬度が高いために円磨されにくいからかであろう。

2. 風化面と新鮮面の比較

岩石の硬度で重要なのは、計測した値が岩石のどの部分の硬度を示しているのかである。青木・松倉（2004b）は、エコーチップの L_s は岩石表層の硬度を、 L_{max} は岩石内部の硬度を示すことを明らかにしている

表 1. 黒曜石礫の形状

No.	採集地点	重量 (g)	比重	長径a (mm)	中径b (mm)	短径c (mm)	b/a	c/b	形状*	円磨度**	球形度**
十勝 I-1	Loc. 1 上土幌町東居辺, 居辺川河床礫 (43°13'15"N, 143°22'30"E)	588	2.35	90	83	63	0.922	0.759	球状	0.8	0.86
十勝 I-2	Loc. 1 "	375	2.37	85	70	51	0.824	0.729	球状	0.8	0.79
十勝 I-3	Loc. 1 "	244	2.34	71	65	40	0.915	0.615	円盤状	0.9	0.80
十勝 I-4	Loc. 1 "	194	2.36	62	55	41	0.887	0.745	球状	0.8	0.84
十勝 I-5	Loc. 1 "	162	2.36	66	50	39	0.758	0.780	球状	0.8	0.76
十勝 II-1	Loc. 3 音更町上然別, 美蔓礫層 (43°02'24"N, 143°04'55"E)	1846	2.35	136	125	88	0.919	0.704	球状	0.7	0.84
十勝 II-2	Loc. 2 新得町新屈足, 美蔓礫層 (43°07'58"N, 142°55'00"E)	761	2.35	110	100	73	0.909	0.730	球状	0.7	0.84
十勝 II-3	Loc. 2 "	223	2.34	81	58	41	0.716	0.707	球状	0.3	0.71
十勝 II-4	Loc. 5 音更町万年, 鎮鎌川河床礫 (43°00'04"N, 143°06'20"E)	412	2.35	89	79	54	0.888	0.684	球状	0.4	0.81
十勝 II-5	Loc. 4 音更町高倉, ハギノ川河床礫 (43°01'12"N, 143°04'57"E)	208	2.36	69	65	32	0.942	0.492	円盤状	0.9	0.76
十勝 II-6	Loc. 4 "	308	2.35	100	70	31	0.700	0.443	円盤状	0.8	0.60
十勝 III-1	Loc. 1 上土幌町東居辺, 居辺川河床礫 (43°13'15"N, 143°22'30"E)	876	2.37	107	87	77	0.813	0.885	球状	0.6	0.84
十勝 III-2	Loc. 1 "	555	2.35	108	91	50	0.843	0.549	円盤状	0.5	0.73
十勝 III-3	Loc. 1 "	682	2.37	130	82	54	0.631	0.659	小判状	0.5	0.64
十勝 III-4	Loc. 1 "	667	2.36	99	84	72	0.848	0.857	球状	0.3	0.85
十勝 III-5	Loc. 1 "	592	2.36	112	80	51	0.714	0.638	円盤状	0.6	0.69

*Zingg(1935), **Krumbein(1941)による

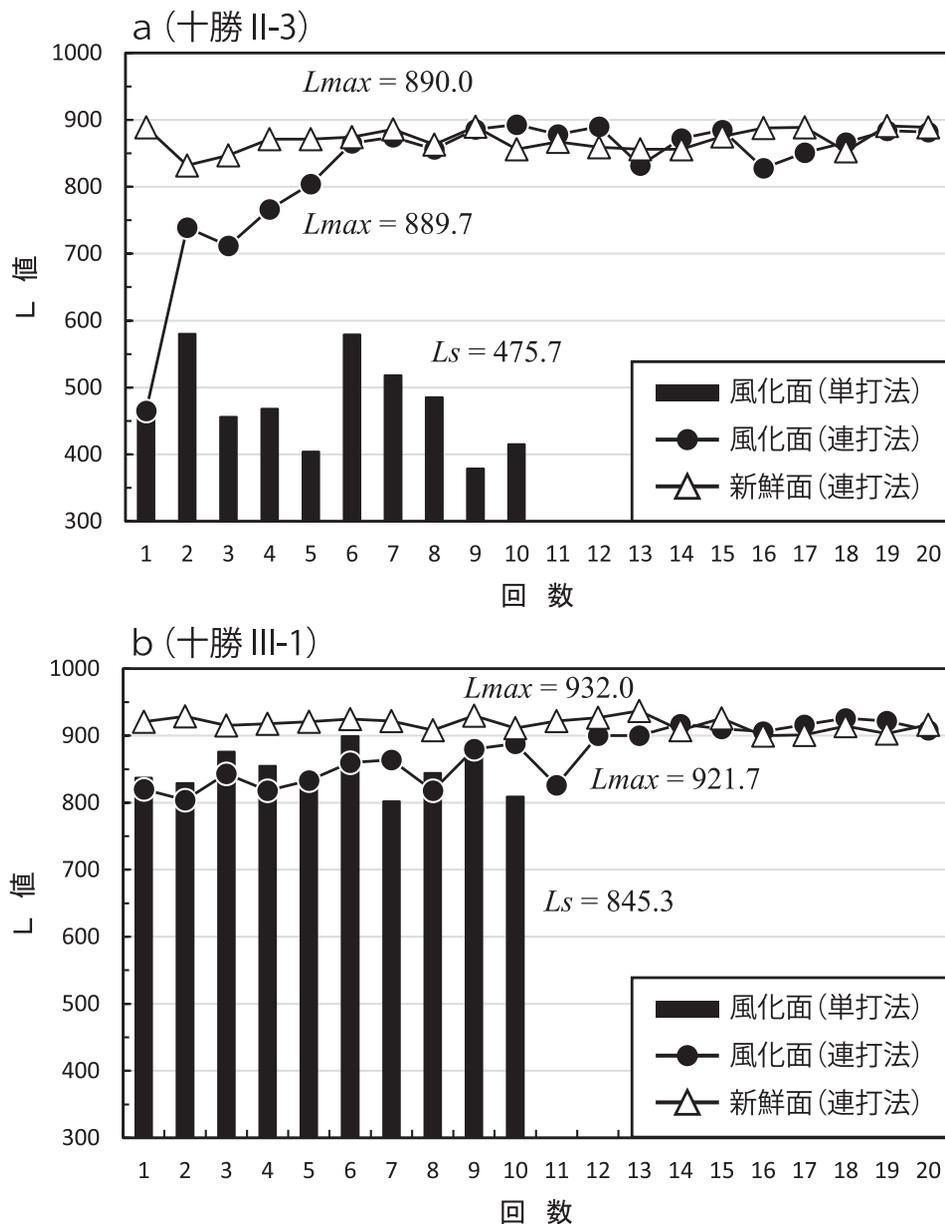


図4. 連打法による風化面と新鮮面の関係。
a : 十勝 II-3, b : 十勝 III-1

が、薄い風化層を持つ岩石については、連打法で得られた L_{max} がどの部分の硬度をとらえているか、つまり表面の L_{max} と新鮮面の L_{max} が一致するかどうかチェックすることが必要である。

そのことから、新鮮面(破断面)が見られた十勝 II-3 と十勝 III-1 において、連打法による風化面(表面)と新鮮面との関係を調べた(図4)。十勝 II-3 及び十勝 III-1 ともに、風化面の連打法から得られた L_{max} は、打撃回数を重ねるにつれて L 値が大きくなる傾向があるが、後に一定の値に収束することが認められる。一方、新鮮面の連打法で得られた L_{max} では、打撃回数を重ねても L 値は一定の傾向を示す。十勝 II-3 の風化面

と新鮮面の L_{max} はそれぞれ 889.7, 890.0, 十勝 III-1 では 921.7, 932.0 であり、いずれもほぼ一致する。したがって、黒曜石礫の風化面(表面)より得られた L_{max} は、岩石内部の硬度を示しており、新鮮面の L_{max} とみなしても良い。尚、十勝 II-3 の表面硬度として得られた L_s は 475.7 であるが、打撃毎のバラツキが大きい。一方、十勝 III-1 の L_s は 845.3 で硬く、打撃毎のバラつきも小さく比較的均一である。そのことから、十勝 II-3 は内部硬度(新鮮面)に対して表面硬度が著しく低下しており、かつ表層の風化度合も一様ではないことを示している。

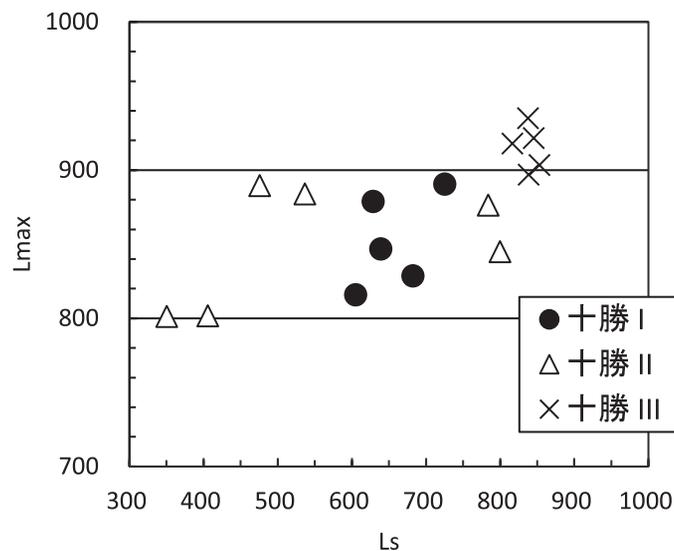


図 5. 黒曜石礫の表面硬度と内部硬度

表 2. 黒曜石礫の硬度及び風化度合いの平均

タイプ	L_s	L_{max}	L_s / L_{max}
十勝 I	655.8 ± 47.9	852.3 ± 32.0	0.77 ± 0.05
十勝 II	791.9 ± 11.0	860.7 ± 22.2	0.92 ± 0.04
十勝 II(風化)	442.1 ± 81.3	844.2 ± 49.3	0.52 ± 0.07
十勝 III	838.2 ± 13.6	915.0 ± 15.1	0.92 ± 0.02

3. 黒曜石礫の硬度

エコーチップで得られた十勝 I, II, III の黒曜石礫の L_s 及び L_{max} を図 5 に示す。十勝 III は、3 タイプの黒曜石の中で最も高い L_s 及び L_{max} を示し、その差も小さいことから、表面はほとんど風化していないことを示している。一方、十勝 I 及び十勝 II の L_{max} は、800 ~ 900 の間に収まることから、ほぼ同程度の硬度を持つ黒曜石と考えられる。したがって、礫の硬度だけでは両者を区分することはできない。しかしながら、十勝 II の L_s は個体差が大きく、800 程度のものと 550 以下のものが認められる。十勝 I 及び十勝 III は、同一地点で採集しているが、十勝 II については複数地点で黒曜石礫を得ているため、異なる環境下に堆積した礫が混入した可能性が高い。ただし、内部硬度である L_{max} はいずれも 800 ~ 900 の間に収まることから、同質の黒曜石礫と判断される。

これらの平均値を求めたのが表 2 である。十勝 II については、高い L_s を示すもの（以下、未風化礫と呼ぶ）と低いもの（以下、風化礫と呼ぶ）を区別して示した。また、表面硬度である L_s は、内部（新鮮）硬度である L_{max} が風化により硬度低下した値と考えること

ができる。そのため両者の比 (L_s / L_{max}) を求めることによって、礫の風化度合いを表わすことができる。

十勝 III は、3 タイプの中で明らかに高い岩石硬度を持ち、かつ風化はほとんどない ($L_s / L_{max} = 0.92$)。一方、十勝 II は未風化礫 ($L_s / L_{max} = 0.92$) と、風化礫 ($L_s / L_{max} = 0.52$) が存在する。未風化礫は、河床礫から得られた 2 点で、風化礫の 4 点は美蔓礫層から得られた 3 点と河床礫から得られた 1 点である。河床礫から得られた風化礫は、美蔓礫層から洗いだされて間もないものと推察する。

おわりに

エコーチップ試験機を用いて、十勝 I, II, III タイプの黒曜石礫の硬度（反発値）を計測した。十勝 III は他の黒曜石よりも高い硬度を示し、表面はほとんど風化していないことが明らかになった。一方、十勝 I 及び十勝 II は、岩石の硬度がほぼ同じ値 ($L_{max} = 800 \sim 900$) を示すため、硬度の違いで両者を区分することは難しい。そのため、野外で両者を見分けるには、黒曜石の光沢や斑晶等の特徴を用いるのが有効である。

十勝 II は、礫表面の風化度合いに違いが見られた。風化礫は、十勝の最高位地形面を構成する美蔓礫層（中期更新世、75-50 万年前）に含有されることから、高位地形面の対比を行う上で良い指標となる。一方、未風化礫は、礫層から洗い出され円磨されることで風化層が除去されたか、近年一次原産地から流下してきたかどちらかであろう。ただし上流域にはダム等の障壁が存在するため、後者の可能性は低い。

以上のことから、十勝 III については、色調・光沢・斑晶の有無のほか、岩石硬度が識別に有用な指標となる。今後は、年代の異なる礫層中の黒曜石の硬度を計測し、鍵層に乏しい北十勝の地形面の対比や、礫層の供給源の推定など行いたい。

謝 辞

琉球大学准教授（当時日本大学）の羽田麻美博士には、エコーチップ試験機の使用に当たり便宜を図っていただいた。十勝自然史研究会の古戸正行、古戸幸子両氏には十勝 II タイプの黒曜石を提供していただいた。ここに記し感謝の意を表します。

引用文献

- 青木 久・松倉公憲, 2004a. エコーチップ硬さ試験機の紹介とその反発値と一軸圧縮強度との関係に関する一考察. 地形, 25 : 267-376.
- 青木 久・松倉公憲, 2004b. エコーチップ硬さ試験機による青島砂岩の表面風化層の強度把握. 地形, 25 : 371-382
- 金成太郎・杉原重夫・長井雅史・柴田 徹, 2010. 北海道・東北地方を原産地とする黒曜石の定量・定性

分析 —黒曜石製遺物の原産地推定に関する研究—. 考古学と自然科学, 60 : 57-81.

Krumbein, W. C., 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. J. Sed. Petrol., 11: 64-72.

向井正幸・和田恵治, 2004. 十勝地方から産出する黒曜石ガラスの化学組成. 旭川市博物館研究報告, 10 : 47-56.

乙幡康之・古戸正行・古戸幸子, 2019. 十勝の黒曜石マップ2019. ひがし大雪自然館研究報告, 6 : 27-32.

吉谷昭彦, 2004. 十勝の黒曜岩. 31pp. 上士幌町ひがし大雪博物館, 上士幌町.

吉谷昭彦・須田 修・川辺百樹・陶森統一・片山博臣・涌嶋三奈・上村 暁, 1999. 十勝地方に産出する黒曜岩の微量元素の組成について. ひがし大雪博物館研究報告, 21 : 1-11.

Wada, K., Mukai, M., Sano, K., Izuho, M., Sato, H., 2014. Chemical composition of obsidians in Hokkaido Island, northern Japan: the importance of geological and petrological data for source studies. In: Ono, A., Glascock, M.D., Kuzmin, Y.V., Suda, Y. (Eds.), Methodological Issues for Characterisation and Provenance Studies of Obsidian in Northeast Asia. Archaeopress, Oxford, pp. 67-84.

藁科哲男・谷島由貴, 1992. 新しく判明した黒曜石の産地. 郷土と科学, 105 : 1-6.

Zingg, T., 1935. Beitrage zur Schooter-analyse. Min. Petrog. Mitt. Schweiz., 15: 39-140.

Summary

The rock hardness of three types obsidian gravel from the Tokachi region, were measured using the Equotip. As a result, Tokachi type-III obsidian has the highest hardness, and was hardly weathered. Since Tokachi type-I and type-II show almost the same hardness, it is difficult to distinguish between them by hardness. In addition to the existing factors (color, conchoidal fracture, phenocrysts, etc.), it became clear that the hardness of rocks is an effective index for distinguishing between Tokachi type-II and type-III.