

岩石の鉱物組成および微構造分析からみた石器石材の選択性

－東北地方日本海側における岩石利用傾向の分析を通して－

米倉 薫¹⁾・橋本綾子²⁾・鈴木哲也³⁾

1 はじめに

旧来、日本の先史時代を対象とした石器石材研究は、遺跡周辺の石材環境および出土遺跡と原産地との関係、遺跡間連鎖、集団の行動論という視点から論じられることが多く、石材自体の具体的な性質と石器製作の関連が検討されることは一部を除いて殆どなかった。しかし、材料となる石材の性質は石材獲得から廃棄に至るまで原則として普遍的属性を保ち続けるため、石器製作および使用・廃棄の一連の過程において継続して影響を与えていた可能性の高いことが指摘されている（上本他 1990）。そのため、一連の石器ライフヒストリー各段階において適した石材が、その性状に基づいて選択されていた可能性は十分に考えられ、材料となる石材の物性と石器製作および使用の間には非常に密接な関係があることが想定される。

それらの問題意識に基づいた石器製作における石質の重要性は、Goodman によって 1940 年代に既に指摘されている（Goodman 1944）。そこでは石器研究における石材密度・硬度等の物性分析の重要性が提唱されているが、遺跡出土資料を基にした具体的な解釈は行なわれていない。その後、1970 年代に入り、国内外において自然科学的手法の開発とその考古資料への応用が盛んに行なわれるに伴い、石器に用いられた岩石の定量的評価の方法および岩石の破壊力学的研究に目が向けられるようになってくる。具体的には Speth（1972）による石材弾性測定、Crabtree（1968）および Cotterell と Kamminga（1987）による亀裂速度の測定、さらに松沢（1979・1980・1984）の石材硬度分析、上本ら（1990）による空隙率・縦波速度・一軸圧縮強度測定等の先駆的な研究が挙げられるが、恒常的に考古資料に適用され、具体的な成果を得られるまでには至らなかった^{註1)}。1990 年代以降は、実際に遺跡から出土した頁岩製石器を対象に、石材物性の差異から石材の選択性を導き出す研究が行われるようになる。具体的には石刃技法における石材選択傾向（渡辺 1996）、尖頭器製作と

¹⁾ 慶應義塾大学理工学部先端科学技術研究センター：〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

²⁾ 独立行政法人 産業技術総合研究所 新炭素系材料開発研究センター：〒 305-8565 茨城県つくば市東 1-1-1

³⁾ 慶應義塾大学理工学部機械工学科：〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

キーワード：石材選択 (selectivity of stone tool materials), 微構造 (microstructure), 粉末 X 線回折分析 (powder X-ray diffraction analysis), エネルギー分散型 X 線分析 (energy dispersive X-ray spectroscopy), 走査型電子顕微鏡 (scanning electron microscope), 透過型電子顕微鏡 (transmission electron microscope)

縦長剥片剥離工程という異なる石器製作過程における石材利用傾向の違い（米倉 1999・2002a・b）等が捉えられているが、当時の集団の物質に対する選択行為およびその意識が反映されていると考えられる石材の物性分析は非常に少ないのが現状である。

上記の通り、考古資料に対する石材物性の定量的評価の方法が確立されていないこともあり、現在では石材を地質学・鉱物学・岩石学的分類体系に則った岩石名・鉱物名で分類し、考古資料に援用して検討を行う手法が一般的となっている。しかし、岩石名・鉱物名による分類は一部の石材産地および一部の石材の大まかな性質を表すことはできるものの、その性状に基づいて同一の基準で石材間相互の比較、検討を行うには限界があり、実際に当時の集団が石材を選択する際に用いていた選択基準を具体的に解明するのは不可能と言わざるを得ない。

以上のような学史的背景を踏まえて、筆者らは先史時代に利用された石材の選択性を論じるに当たり、現在の地質・鉱物・岩石学的分類体系ではなく、当時の集団が認知していた可能性の高い選択基準という観点から、旧石器時代の石材利用傾向を論じることを目的として、その分析手法の開発および実際の遺跡出土資料の分析を継続して行ってきた（廣田他 1999, 米倉 1999・2002a・b）。ここでは石材をデータ化するための一手法として非破壊分析である石器表面の粗さ、比重を求めた。また、石器製作に関連すると推測される要素として、硬度測定および石器製作における静的荷重の運動を再現性よく見積もるために3点曲げ試験を行い、石材の定量的データ化だけでなく石器製作・使用との関連性を捉えるための分析手法の開発を行ってきた。本稿では、現在までに得られた石材の物性分析結果を踏まえ、それらの物理的・機械的属性に大きな影響を与えると推測されている石材の含有鉱物および微構造等の諸属性について分析を加えて、これらの各性質に対する裏付けを行う。さらに、化学的性質、微構造分析から当時の集団の石材選択基準を検討することとする。岩石の組織および微構造はその力学的性質に密接に関係、影響を与える可能性が高いことが指摘されており（Price 1963, Shroeder 1972, 疋田貞良他 1997 等）、これらの研究は石材物性およびその選択基準を解明するに当たって基礎となる重要な作業である。また、亀裂進展に大きな影響を与えることが指摘されている石材内部の微細な空隙や間隙（前田他 1983 等）、および膠結物質の影響（Schimazek 1967, Dube & Singh 1972）、鉱物粒子と強度との関係（Houpert 1967, Olsson 1974）等、今後行っていく分析に関して基礎的データを提供するものと考えられる。本論では、以上の目的意識に基づいて、対象岩石における分析手法の有効性を確認することも含めて、遺跡出土資料と遺跡周辺に産出する岩石を対象に比較検討を行う^{註2)}。それらを通して、石材選択の第一段階となる原石の選択段階においてどのような岩石が選択されていたのかを具体的に検討する。そのため、従来検討を加えてきた製作技術の相違による石材物性の微細な差については、本研究によって分析手法の有効性が確認された後に行う予定である。

2 分析手法および対象試料

分析にあたり、上記の物理的・機械的性質と密接な関わりがあると考えられる岩石の鉱物組成、微構造分析、微細な表面性状およびそれぞれの粒子サイズを検討するために、以下の方法で石材分析を行った。具体的には粉末 X 線回折分析 (Powder X-ray Diffraction Analysis) による岩石の構成鉱物の同定、透過型電子顕微鏡 (Transmission Electron Microscope-TEM) による微構造の解析、走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope-SEM) による石材剥離面の観察およびエネルギー分散型 X 線分析 (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy-EDS) による元素分析である。これらの分析を通して、遺跡出土資料と遺跡周辺で採取可能な岩石の間での傾向の違いを確認する。透過型電子顕微鏡観察をはじめとするこれらの分析手法は、岩石を構成する結晶粒およびその界面の情報を引き出すことができ、人間の感覚で認知される硬度・破壊強度・表面粗さ等々の物理的性質とも非常に密接に関わっていることが推測される。

分析対象とした遺跡出土資料およびその対比試料は、山形県上野 A 遺跡 (米倉他編 2002) ・お仲間林遺跡 (阿部他編 1991・1993) より出土した資料と遺跡周辺で採取が可能な河床礫である。上野 A 遺跡およびお仲間林遺跡は共に原石を直接遺跡内に搬入し、遺跡内にて一連の石器製作を行っていた所謂「原産地型遺跡」であると判断されている。また遺跡内に持ち込まれ、石器製作に供された石材は、遺跡直下を流れる大入間川河床に転在する礫であった可能性が高いと想定されており (渡辺 1996 他)、石器製作に用いられた石材の選択性を検討するに当たって 2 遺跡の出土資料および当河床礫を比較する方法は妥当であると考えられる。なお、当該地域においては主として頁岩から構成される草薙層が存在しており、その影響から両遺跡で出土している石器も総出土点数のうち 90%以上という高い割合で頁岩^{註3)} 製石器が占めている。

3 分析手順

まず遺跡出土資料および遺跡周辺に産する転石を比較するにあたり、前者を代表して、上野 A 遺跡出土資料 7 点、お仲間林遺跡出土資料 7 点を選出した。対象とする石器資料は色調、表面性状、手触り等において異なる特徴を有するものを敢えて選出し、お仲間林遺跡出土資料からは玉髓製石器も検討対象に加えた。特に上野 A 遺跡からは、尖頭器に特徴的に見られる灰白色を呈する頁岩から、縦長剥片剥離に利用される傾向の強い、黒褐色を呈する頁岩製石器まで幅広く選出した。また比較対象として後者からは、図 1 に示した通り、石材採取領域であると考えられる大入間川河床の 2 地点にて一定範囲内から転石を無作為に採取し、分析対象試料とした。採取された岩石は上流部の O-1 地点から 18 点、遺跡直下の O-2 地点から 6 点、合計 24 点である。これらの試料は、河床にて採集可能な岩石をランダムにサンプリングしたものであり、中には性状が遺跡出土石器石材と非常に近似したサンプルも含まれている。また同様に、遺跡近隣の段丘礫層より風化頁岩と考えられる礫 7 点も回収し、分析対象とした。

また、TEM 観察は以下の方法で行った。まず対象石器資料および採取岩石を、ダイヤモンドカッターを用いて約 2 mm×2 mm のサイズに切断し、その後エメリー紙を用いて約 100 μm 以下の厚さになるように研磨した。さらにディンプレーを用いて厚さが 20 μm になるまでくぼみをつくり、加えてイオンシニングを行った。さらに電子線による帯電を防止するために、カーボン蒸着を行った。以上の下準備を経たサンプルを対象として日立製作所製 H-800 型電子顕微鏡を用い、加速電圧 200kV で観察を行った。同時に、堀場製作所製 EMAX-3000 型 EDS 装置を用いて元素分析を行った。その際の電子ビーム径は 20nm である。

SEM 観察は帯電防止の目的で、まず対象に金蒸着を行い、日立製作所製 HITACHI S-3100H を用いて加速電圧 15kV で行った。

なお、粉末 X 線回折分析および TEM 分析、SEM 観察においては、試料作成の段階で一部破壊・改変を伴う分析であったため、同一の試料を対象とすることができなかった。そのため、河床礫・段丘礫については一つの礫内の異なる部位で複数の試料片を作成し、対象としている。その際、試料は同一礫中で可能な限り近接した部位から作出した。また遺跡出土資料についても同様に、一点の資料から数点の試料片を作成し、分析に供した。

4 分析結果

1) 粉末 X 線回折結果

前述の試料を対象として粉末 X 線回折分析を行った結果を表 1 に示す。X 線吸収量を考慮して、X 線回折ピークの強度から鉱物含有量を概算した。なお含有量は原子数濃度で示してある。またデータを表示するに当たっては、遺跡出土資料と遺跡周辺より採取された試料との比較を容易にするために、主要上位 7 鉱物を選出し、全体を 100% に換算して掲出した。そのため、この表においては、微量鉱物については取り上げていない。

検出された鉱物は表に示した通り、遺跡出土石器資料に関しては石英 (SiO₂)^{註4)} が極めて卓越する結果となった。平均的な頁岩における鉱物組成は約 1 / 3 の石英、1 / 3 の粘土鉱物、1 / 3 の炭酸塩鉱物他であるとされている。今回分析対象とした遺跡出土石器の構成鉱物は、主要上位 7 鉱物に限定してはいるものの、上記の石英含有量をはるかに超える結果となった^{註5)}。

また対象とした遺跡出土石器は、前述の通り異なる色調・性状を呈する資料を取って選出していたが、石英を特に多く含むという点で特に大きな差は認められなかった。特に上野 A 遺跡出土資料については、色調および手触り、表面性状等において取って異なる資料を選出したにも関わらず、鉱物組成上は大きな差異が見られない結果となった^{註6)}。多様な色調の頁岩が遺跡内から検出されている点は、当時の集団が石材を選択する際に、色調による分別ではなく、主に他の要素によって選択基準が設けられていた可能性を示唆するものである。さらに遺跡出土資料には玉髄製石器も含まれているが、頁岩製石器との違いは構成成分上では見出せなかった。

表1 粉末X線回折分析結果

Table 1 Mineral compositions of samples analyzed by powder X-ray diffraction method.

	Sample No.	石英 SiO ₂	正長石 KAlSi ₃ O ₈	モルデン沸石 *1	黄鉄鉱 FeS ₂	ワイラケ沸石 *2	苦灰石 *3	サニジン K(Si ₃ Al)O ₈	備考
上野 A 遺跡	No.1	100.0							
	No.2	99.6		0.4					
	No.3	100.0							
	No.4	100.0							
	No.5	97.7	2.3						
	No.6	100.0							
	No.7	100.0							
お仲間 林 遺跡	No.1	100.0							玉髓製石器
	No.2	100.0							
	No.3	100.0							
	No.4	94.3	1.8	0.9	3.0				
	No.5	99.5		0.5					
	No.6	96.1			3.9				
	No.7	100.0							
O-1地点 (大入 間川 上流)	No.1	91.9	4.0	4.1					
	No.2	97.9	2.1						
	No.3	77.0	15.5	7.5					
	No.4	92.4	5.6	2.0					
	No.5	88.0	12.0						
	No.6	91.4	8.6						
	No.7	67.2	12.5			20.3			
	No.8	79.8	15.5	4.7					
	No.9	97.0	2.6	0.4					
	No.10	94.5	5.5						
	No.11	87.8	8.2	4.0					
	No.12	84.5	13.6	1.9					
	No.13	94.6	2.7	2.7					
	No.14	89.1	6.4	4.5					
	No.15	82.6	16.7	0.7					
	No.16	88.5	7.8	3.7					
	No.17	97.9	2.1						
	No.18	86.1	10.9	0.5	2.5				
O-2地点 (大 流入 間川)	No.1	96.1	2.9	1.0					
	No.2	84.7	12.8	2.5					
	No.3	91.7	8.3						
	No.4	22.9					77.1		
	No.5	91.6	6.1	0.4	1.9				
	No.6	98.0		2.0					
段 丘 礫	No.1	90.7	6.1	3.2					54.2
	No.2	85.6	11.5	2.9					
	No.3	39.8	6.0						
	No.4	90.8	9.2						
	No.5	88.4	8.0	3.6					
	No.6	86.1	10.4	3.5					

*1 (Na₂,Ca,K₂)Al₂Si₁₀O₂₄·7H₂O

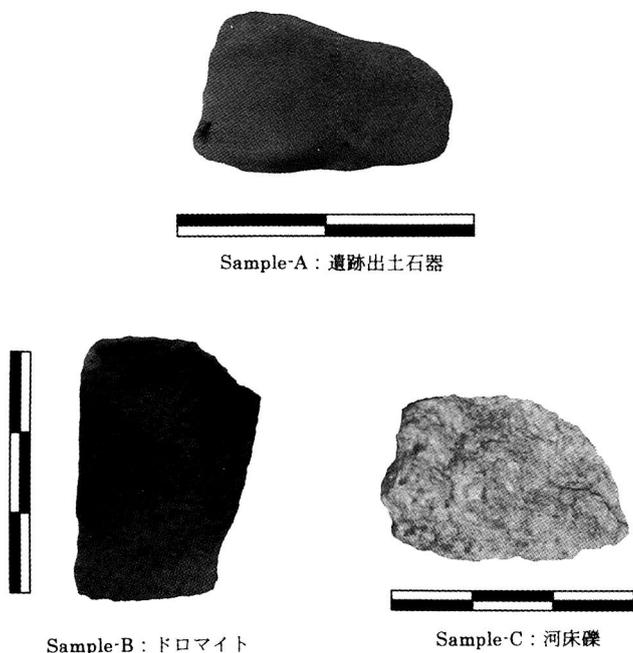
*2 CaOAl₂O₃·4SiO₂·2H₂O

*3 Ca(Mg,Fe,Mn)(CO₃)₂

アミ掛は95%以上

以上の遺跡出土資料の分析結果を念頭において遺跡周辺で入手可能な岩石試料を分析した結果、石英が相対的に少ない試料が多くを占める傾向が見出せた。具体的には、O-1で採取したNo.2・17試料、O-2にて採取したNo.6試料等に見られるように、遺跡出土資料と近似した性状を呈する岩石においては石英が約98%と、遺跡出土頁岩と同様の値を示す傾向がある一方、殆どのサンプルでSiO₂が90%に満たない割合で検出されており、遺跡周辺で得られる岩石と遺跡出土資料の間では、構成成分上の大きな違いが見られた。

また、以上で対象とした河床礫の中で、O-2のNo.4試料は、やや肌理は粗いが、遺跡出土の頁岩



Sample-A : 遺跡出土石器

Sample-B : ドロマイト

Sample-C : 河床礫

図2 分析対象試料

Fig.2 Samples analyzed by energy dispersive X-ray spectrometry and observed by microscopes. (Sample-A : stone tool from the site. Sample-B : dolomite. Sample-C : gravel from riverbed nearby the site.)

にも見られる性状を呈しており(図2), 構成成分についても遺跡出土頁岩に近い値が得られると推測されていた。しかし, 分析を行なった結果, 石英が含まれている割合は相対的に低く, それに対して苦灰石〔ドロマイト (Ca, Mg (CO₃)₂)] が全体の 77.1%と, 高い割合で検出された。今回分析対象とした遺跡出土石器の中には, このドロマイトを主成分とする岩石は検出されておらず, 当時の集団が石器製作において石材を選択する際に, 結果的に石英が多量に含まれている岩石を意図的に選択しており, 選択基準に満たない礫は敢えて利用しなかった可能性が指摘される。

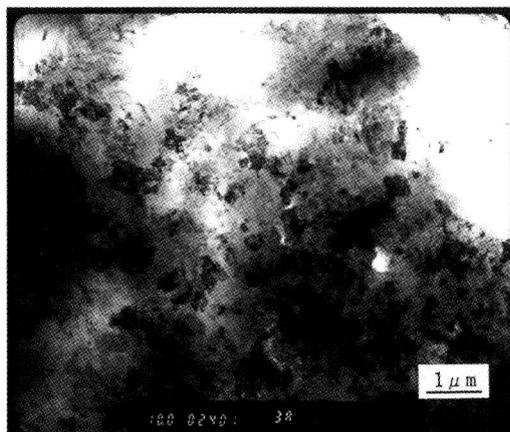
以上の結果を踏まえて, 石器石材として選択される際の選択基準を更に詳細に検討するために,

構成鉱物上大きな違いが見出された遺跡出土資料と河床礫, および前述のドロマイト含有試料を対象として, 電子顕微鏡観察および微量元素分析を行い, 微構造上で捉えられる石材の傾向を確認する。対象としたのはお仲間林遺跡出土資料 No.1 [Sample-A] および O-2 の No.4 試料 (ドロマイト含有試料) [Sample-B], 大入間川河床礫 O-1 の No.3 試料 [Sample-C] の3試料である。

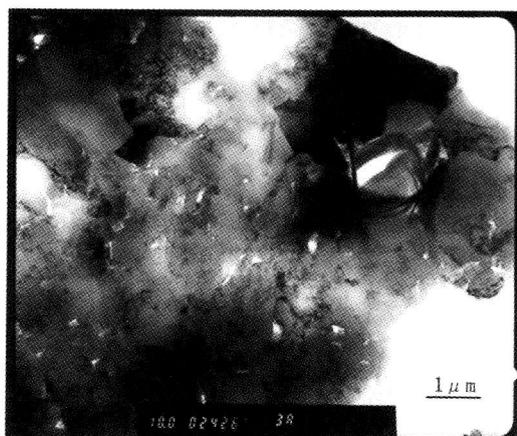
2) 透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察・走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察・エネルギー分散型 X 線分析 (EDS) 結果

図3に透過型電子顕微鏡観察によって得られた画像を, また図4に走査型電子顕微鏡によって観察された画像を提示する。さらに図5にはエネルギー分散型蛍光 X 線分析による代表的なパターンを掲出する。

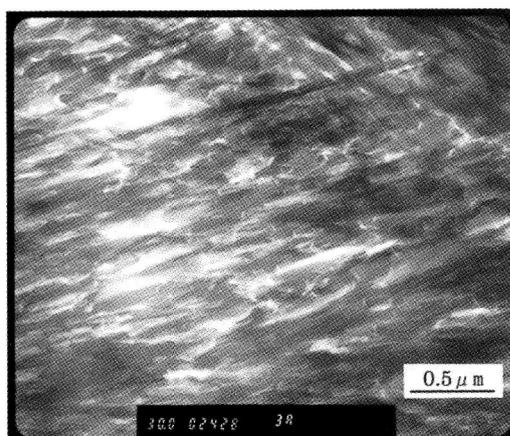
検討の結果, 遺跡出土の対象試料には径 0.1~0.5 μm 程度の極微小な石英粒子が高密度で観察されており, 数ヶ所の範囲では, この石英粒子はラメラ形状を呈していることが確認された。さらにエネルギー分散型蛍光 X 線分析の結果, 大部分で Si 元素が検出されているものの, ごく一部で Al, Fe, Ca, Mg 元素を含む粒径 1 μm 程度の粒子が検出された。



Sample-A：遺跡出土石器



Sample-B：ドロマイト



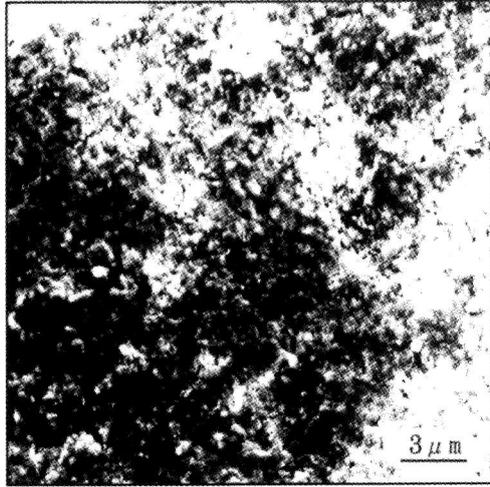
Sample-C：河床礫

図3 透過型電子顕微鏡観察結果
Fig. 3 TEM micrographs of samples.

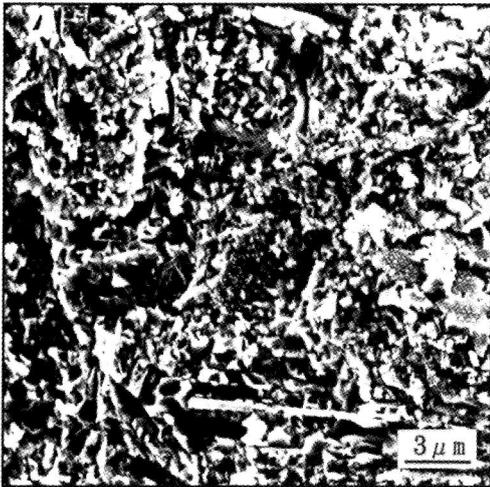
それと比較して、ドロマイトが多く検出された O-2-No.4 試料のエネルギー分散型 X 線分析結果では、既述の X 線回折分析結果に矛盾せず、Si の他に Mg, Ca, および Fe が検出されている。また、当該試料は肉眼観察においては遺跡出土頁岩にも見出される性状を呈しているにもかかわらず、透過型電子顕微鏡観察および走査型電子顕微鏡観察の比較の結果、粒径が $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 程度の粒子が見られるなど、遺跡出土石器に用いられた頁岩との間には粒子の密度および粒子サイズ、空隙の状態において、差異が見られることが判明した。

また河床礫の O-1-No.3 試料は、Si 元素が大部分で検出されているが、Al, K, Na, Mg, Fe および Ti の酸化物が多く検出され、遺跡出土資料との間で、含まれる微量元素に若干の違いが認められた。また、粒子サイズも $5 \sim 10 \mu\text{m}$ と遺跡出土資料と比較して非常に大きく、更にこれらの粒子は部分的に異方性を持つ繊維状を呈していることが確認された。

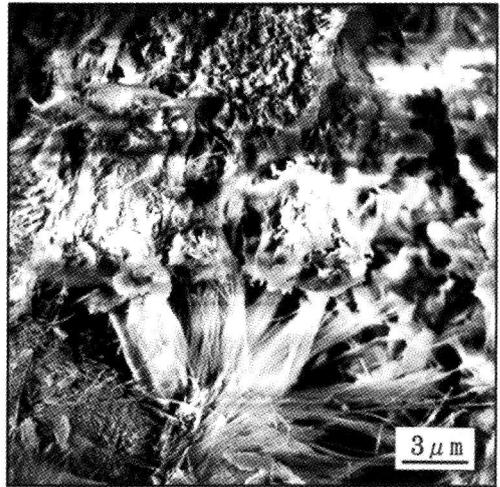
以上の結果から、O-2 地点 No.4 および O-1-No.3 試料は、遺跡出土資料と比較して、その成分



Sample-A：遺跡出土石器



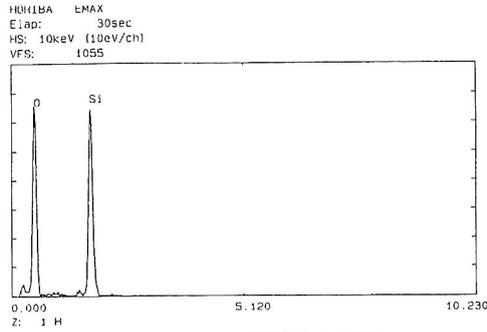
Sample-B：ドロマイト



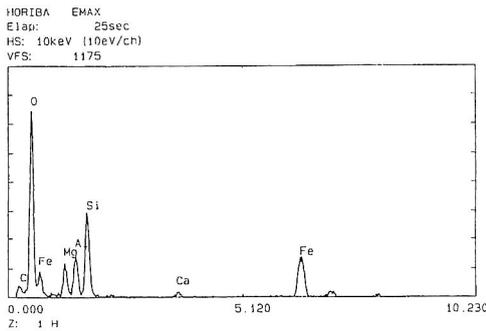
Sample-C：河床礫

図4 走査型電子顕微鏡観察結果
Fig. 4 SEM micrographs of samples.

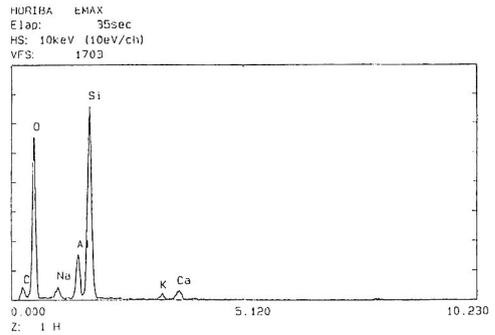
上大きな違いが見出され、且つ粒径・間隙等の点で相違が認められることが明らかとなった。これらの組成および構造上の特徴を持つ岩石が石器の製作に用いられなかったのは、その微構造が剥離特性等に代表される物理的・機械的特性に影響を与えており、石器製作・使用の際の適性に見合わない岩石が除外された結果ではないだろうか。今回は、これらの岩石に対する具体的な物理的性質の分析は一部を除いて行っていないが^(註7)、硬度、粘性、脆性、靱性等を念頭においた物性分析を行うことに



Sample-A : 遺跡出土石器



Sample-B : ドロマイト



Sample-C : 河床礫

図5 代表的なエネルギー分散型X線パターン

Fig. 5 Energy dispersive X-ray spectroscopy patterns of representative samples.

よって、遺跡出土頁岩との差異および製作・使用と密接に結びついた石材選択の背景を明らかにできると考えられる。

5 まとめ

分析の結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 分析対象とした岩石については、遺跡出土資料の石材および岩石試料を比較可能とするためのデータ化に粉末X線回折分析による鉱物組成分析、透過型電子顕微鏡・走査型電子顕微鏡による観察が有効であることが示された。
- 2) 石英含有量の低い遺跡周辺の岩石と比較して、遺跡出土石器石材は石英が90%以上という高い割合で含有されており、化学組成・鉱物組成上、両者に違いが見られることが明らかとなった。
- 3) 遺跡出土資料に関しては、多様な色調の石材に対して構成鉱物の差異は認められず、色調が石材選択の際の選択基準とはなり得ない可能性が示唆された。
- 4) 遺跡出土石器では、粒径が0.1~0.5 μm の石英粒子が高密度で観察されたのに対して、遺跡周辺に産出する岩石は粒径5~10 μm の石英粒子が認められ、両者の粒子サイズおよび間隙に大きな違いがあることが確認された。

5) 肉眼観察において遺跡出土資料と近似した性状を示すドロマイト含有岩石については、その鉱物組成・化学組成および顕微鏡観察結果において遺跡出土資料との違いが見出された。

以上の結果、石器製作を行った集団は、ある程度明確な判断基準を持って、材料となる石材を選択していた可能性が指摘できた。それらの基準は、現在の分析手法においては、化学的特性として、また石材の微構造の違いとして捉えられる側面であった。具体的には、粒径 $0.1\sim 0.5\mu\text{m}$ 程度の極微小な石英粒子を 90%以上という高い割合で密に含有している岩石で、間隙、不純物が少ない石材を特に選択的に用いているという傾向が把握された。これらは岩石の特性としては、人間の感覚で捉えられる肌理や硬度、脆性等々の物理的性質として現れてくると考えられる。以上のデータは、岩石の剥離特性等を詳細に検討していく際の基礎データとなり得るものであり、今後は今回確認されたこれらの性質が剥離特性等の石材物性にどのように影響を与えていたのか、さらに詳細に検討することが必要と考えられる。

さらに遺跡出土石器の中でも、比較的バラエティに富んだ性状を示す頁岩が観察されており、それらの利用傾向に違いがあることも確認されている(米倉 2002a・b)^{註8)}。今回の分析結果においては、その構成鉱物に大きな違いは見られなかったが、他の条件が同じならば、特に圧縮強度については石英・長石の含有率よりも膠結物質に大きく左右されることが指摘されている(Shimazek 1967, Dube and Singh 1972)。また特に顕微鏡観察等の検討については、本稿では代表的なサンプル数点を対象として取り上げたが、空隙率・間隙率等、岩石強度に大きく影響を与えることが指摘されている要素について検討を加えるに当たっては、試料数を増やし、更に踏み込んだ分析が必要である。

それらに加えて、本論で取り上げた分析手法は、多結晶体である頁岩製石器およびその周辺の岩石との比較の差異を抽出するには有効であることが指摘できたが、黒曜石に代表される非晶質石材に対しては粉末 X 線回折の検討だけでなく、力学的検討、顕微鏡観察等を組み合わせて検討を行っていくのが有効であろうと思われる。そのため、他の石材に関しても同一基準で比較可能な機械的性質等の検討も進めていく予定である。

以上の点を踏まえ、新たな分析手法の開拓およびそれらのデータと当時の人間の感性で認知できる選択基準との関連、石器の製作・使用への影響を検討して行くことが今後の課題である。

【謝辞】

本稿は 1998 年慶應義塾大学大型研究助成「考古学・工学的アプローチによる石器加工技能の究明」による研究成果の一部である

以上の分析を行なうにあたり、東北大学名誉教授砂川一郎先生、鉱物科学研究所所長堀秀道先生、慶應義塾大学理工学部応用化学科鹿園直建先生、木村進一氏、機械工学科山崎信寿先生、小茂鳥潤先生には多大なるご助言・ご協力を賜りました。また、慶應義塾大学大学院理工学研究科長谷川裕之氏、

キャノン（株）廣田紀和氏には分析機器使用に際して多くのお時間を割いて頂き、ご協力を賜りました。心より感謝申し上げます。

【註】

註1) これらの動向については、山田他（1989a・b）に詳しい。

註2) 分析対象の呼称に関しては、遺跡出土石器を対象としている場合、分析に供する前段階においては「資料」という言葉を用い、分析に関わるサンプルとした段階で「試料」という言葉を用いた。またそれらに対する比較材料としての河床礫サンプルについては、採取段階より「試料」と呼称した。

註3) 従来、当該地域で出土している石器資料の石材に対しては、「硬質頁岩」「珪質頁岩」という用語が用いられているが、その分類基準が曖昧であるため、成分分析を行う前段階においては、本稿では両者を合わせて「頁岩」と呼称することとする。

註4) 本検討試料には石英以外の珪酸塩鉱物が認められないため、本稿では石英を便宜上 SiO_2 と記す場合もある。

註5) これらの結果は、註3にて指摘した通り、従来この地域で出土している石器石材に対して、一部「珪質頁岩」という名称が与えられていることの裏付けとしても捉えられる。また男鹿半島に広がる女川層産出の頁岩を対象とした論考においても、岩石学的・機械的性質が異なる「頁岩」と「珪質頁岩」では石英含有量が大きく異なるという結果が報告されている（木村他 1999・鹿園他 2001）。

註6) 風化に伴う砂岩の色調変化が、内部の褐鉄鉱付着空隙の増加に伴うことが指摘されており（満下他 1998）、従来、岩石の色調に影響を与えることが指摘されてきた鉱物・化学的側面の分析も含めて、色調の決定についてはより多角的な検討を加える必要があると考えられる。

註7) 遺跡出土資料に性状が近似した、O-1地点 No.2 岩石とドロマイトを多く含む試料を対象としてマイクロビッカース硬度測定を行い、各々20回試験をした結果の平均値を算出したところ、前者の平均が850であるのに対し、後者の平均値は348と両者に違いが見られ、ドロマイト含有量の多い試料の硬度が低い傾向にあった。

註8) 粉末 X 線回折分析の対象とした遺跡出土資料に限定して、マイクロビッカース硬度測定を行ったところ、平均値が400台～900台と比較的広い範囲に分散する傾向が認められた。また、これらの傾向は米倉（1999, 2002a・b）においても捉えられている。このことから、 SiO_2 が高い割合で検出される岩石に関しては、一定の硬度値以上を示す傾向は捉えられるものの、細かい差異についてはビッカース硬度と構成鉱物の間で密接な関係は認められないことが明らかとなった。これらの傾向については、特にEDS分析結果を考慮に入れつつ、膠結物質等の影響も考慮に入れた検討を加える必要があると考えられる。

【主要参考・引用文献】

阿部祥人・五十嵐彰編

1991『お仲間林遺跡 1986』慶應義塾大学文学部民族学・考古学研究室小報 8

阿部祥人・岡澤祥子・工藤敏久・渡辺丈彦編

1993『お仲間林遺跡の研究－1992年発掘調査－』慶應義塾大学民族学・考古学研究室小報 11

上本進二・御堂島正・松岡憲知

1990「石器石材の物理的性質（予察）」旧石器考古学 40 pp.41-44

木村進一・鹿園直建・野原昌人・岩井修平

1999「化学的風化に伴う微量・希土類元素の挙動－男鹿半島，女川層堆積岩の例－」『応用地質』第40巻第5号 pp.281-294

鹿園直建・木村進一・岩井修平

2002「化学的風化作用に伴う石膏の生成と源岩鉱物組成との関係－秋田県男鹿半島女川層堆積岩の例－」『応用地質』第43巻第3号 pp.134-142

戸刈賢二 1979「石英の色の多様性と生成条件」『地球科学』33（2） pp.106-107

秦 昭繁 2001「考古学における珪質頁岩の石材環境と産地推定」『山形応用地質』第21号 pp.1～8

疋田貞良・鈴木哲也

1997「化学的風化に伴う岩石の性状の変化とその予測」『開発土木研究所月報』No.527 pp.17-25

廣田紀和・木村綾子・鈴木哲也・山田邦博

1999「 α －石英の微小曲げ試験と微構造解析」『第38回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集』pp.133-134 日本機械学会関東支部

藤本 強 1976「石器製作の力学的検討」『日本の旧石器文化』5 pp.128-145

前田亟・清水信之

1983「9種類の岩石の密度，空隙率及び1.5kbまでの圧力下でのP波速度」『北海道大学物理学研究報告』Vol.42 pp.275-280

松沢亜生 1979「石器製作実験による復原的石器研究法－石器製作実験および石器計測のための基礎データ」『考古学と自然科学』第12号 pp.79-95

1980「石器製作技術の復原的な理解に必要な岩石剥離現象について」『考古学・美術史の自然科学的研究』古文化財編集委員会編 pp.469-477

1984「石器用石材のショア硬さ測定について」『古文化財の自然科学的研究』 pp.173-185

満下淳二・石沢一吉・遠藤司・武内俊昭

1998「岩石の色彩測定と風化区分および物性値評価への応用に関する検討」『応用地質』第38巻第6号 pp.370-385

山田梅太郎・西松裕一

1977『岩石力学入門』第2版 東京大学出版会

山田しょう・志村宗昭

1989a「石器の破壊力学(1)」『旧石器考古学』38 pp.157-170

1989b「石器の破壊力学(2)」『旧石器考古学』39 pp.15-30

米倉 薫 1999「旧石器時代における石材選択－特に玉髓製石器と頁岩製石器の出土傾向と硬さの検討を通して－」『山形考古』第6巻第3号 pp.1-17

2002a「旧石器製作過程における石材物性の影響－東北地方頁岩産地帯の石器製作址を例として－」『史学』第71巻第2・3号 pp.265-299

2002b「石器石材の物理的性質から見た上野 A 遺跡出土石器の検討」『山形県西村山郡西川町上野 A 遺跡発掘調査報告書－尖頭器製作址の研究－』慶応義塾大学民族学・考古学研究室報告 13 pp.182-192

米倉 薫・阿部祥人編

2002『山形県西村山郡西川町上野 A 遺跡発掘調査報告書－尖頭器製作址の研究－』慶応義塾大学民族学・考古学研究室報告 13

渡辺丈彦 1996「東北地方頁岩産地帯における石器石材の利用－山形県お仲間林遺跡と南野遺跡の比較検討から－」『史学』第66巻第1号 pp.457-483

Cotterell, B. and Kamminga, J.

1979 The mechanics of flaking. *Lithic Use-Wear Analysis* pp.97-112

1987 The formation of flakes. *American Antiquity* 52-4 pp.675-708

Crabtree, D. E.

1968 Mesoamerican polyhedral cores and prismatic blades. *American Antiquity* 33-4 pp.446-478

Dube, A. K. and Singh, B.

1972 Effect of humidity on tensile strength of sandstone. *Journal of Mines, Metals and Fuels* 20 (1) pp. 8-10

Goodman, M. E.

1944 Physical properties of stone tool materials.

American Antiquity 9 pp.415-433

Houpert, R. 1967 La resistance a la rupture des granites en fonction de la dimension de leurs mineraux, *Comptes Rendus des Séances de L'Academie des Sciences. ser. AB*, 265 (19), pp. A583-586

Olsson. W. A. 1974 Grain size dependence of yield stress in marble. *Journal of Geophysical*

Research 79 (32) 4859-4862

Price, N. J. 1963 The influence of geological factors on the strength of coal measure rocks. *The Geological Magazine* 100 (5), pp.428-443

Schimazek, J.

1967 ルール石炭紀層岩石の組織が強度特性と切削性におよぼす影響 *Gluckauf* 日本版 16 (2) 94-99

Shroeder, C. 1972 Influence de la lithologique sur le comportement mecanique des roches soumises a essays de compression simple et bresiliens. *Engineering Geology* 6 (1) pp.31-42

Speth, J. D. 1972 Mechanical basis of percussion flaking. *American Antiquity* 37 pp.34-60

1975 Miscellaneous studies in hard hammer percussion flaking : the effects of oblique impact. *American Antiquity* 40 pp.203-207

(2003年6月16日受付, 2003年11月6日受理)

A study of material selectivity in Paleolithic Age **– Microstructural and mineralogical analyses of stone tool materials –**

Kaoru YONEKURA¹⁾, Ayako HASHIMOTO²⁾ and Tetsuya SUZUKI³⁾

1) Keio Leading-edge Laboratory of Science and Technology

3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi 223-8522, Japan

2) National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

1-1-1 Higashi, Tsukuba-shi, Ibaragi-ken 305-8565, Japan

3) Department of Mechanical Engineering, Keio University

3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi 223-8522, Japan

It is considered that the physical and chemical properties of materials had great influence on making tools as well as usage of tools. Paleolithic groups should have selected proper raw materials to meet these purposes. Keeping this assumption in mind, we compared stone tools with gravels which were collected around the site in the respect of mineral compositions and microstructure. An assay is as follows ;

We analyzed mineral compositions by powder X-ray diffraction method and chemical compositions by energy dispersive X-ray method. Microstructural analysis was made by scanning electron microscope and transmission electron microscope.

It turned out that most of stone tools from the site consist of quartz (SiO_2), while gravels from the riverbed contain Si, Al, K, Na and Ti in quartz matrix. Transmission electron microscopic observation showed that stone tools consist of small size of quartz grains with about 0.1~0.5 μm , which were densely packed and randomly oriented. On the other hand, both gravels from the riverbed and dolomite ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$) have larger size of grains with 5-10 μm and lamella structures with many pores at the grain boundaries.

In this paper, we indicate that Paleolithic toolmakers might have strict criteria to select raw materials for making tools, and have only used them which meet their criteria.