

使用痕光沢の形成過程

———東北大学使用痕研究チームによる研究報告 その6———

山田 しょう

は じ め に

1970年代半ばに始められた金属顕微鏡によるシリカ質堆積岩製の石器の使用痕研究は現在世界的に定着しつつある。

即ち、複製の打製石器によって広範な実験を行なうと主に草、木、骨、角、皮、肉等の被加工物のタイプに応じて特徴的な光沢面が刃部に形成されるのが、金属顕微鏡の100～500倍で観察される。これを基準に実際の石器の使用痕が同定され、機能が推定される。既に多くの遺跡の分析例が報告されているが、何故このような光沢面ができるのかということについては基本的な現象の事実認識においてすら一致を見ていない。使用痕同定の確実性を高め、研究を前進させるうえで、光沢面の形成機構の理解は不可欠である。

この論文は走査電子顕微鏡により、従来光学顕微鏡で把握されてきた使用痕光沢の細部の特徴とその形成過程を観察し、現在議論が対立している光沢面の形成機構が摩耗であることを明らかにするものである。

I. これまでの研究成果

1. 光学顕微鏡下の使用痕光沢の特徴

現在の使用痕分析法は L. H. キーリーにより確立された。^{1),2)} 彼はヨーロッパで打製石器の主な材料となっているフリントの多数の複製石器により、石器時代に想定される使用実験を行った。その際、被加工物の種類、乾燥程度等の状態、石器の運動方向、刃角、作業量など、様々な変数が記録された。といっても、多様な大きさの石器を手で握って何回あるいは何分作業するという内容の、きわめて素朴な実験である。しかし、我々が求めているのは厳密な条件設定とは無縁の、石器時代に行われた作業の復元に必要な基準である。コントロールできない細かい変数の存在は実験の数で補い、それに拘らず現れてくる結果を把握する。また、長年にわたる土中の厳しい環境に耐え得る恒久的な無機質の使用痕を検出するため、実験石器は水酸化ナトリウムや塩酸で処理され、有機物や表面的な無機質の付着物を除去される。

その結果、石器の運動方向、作業量等にも影響されるが、主に被加工物のタイプに応じて特徴的な光沢 polish が形成されることが知られた（正確には光沢面と呼ぶべきだが、現象的に光沢を放つ滑

らかな面を全て慣用的に光沢と呼んでいる)。我々はこの光沢を11のタイプに分類した(図2)。^{3,4)}

Aタイプは刃部全体を覆う滑らかな光沢面で運動方向を示す線状痕はきわめて細かいが、ほとんど見えない。イネ科等の珪酸含有量の高い草本の作業で現れる。Bは丸味をおびた光沢面はAと共通するが、全面を覆うことはない。Aの未発達の場合と木の作業で現れる。Cはピットや線状痕の多い粗い外観を示す。骨、角の作業で現れる。D₁は発達すると平坦な‘雪のとけたような’滑らかな面を示すが刃の縁に限定され、内側には広がらない。水漬けの骨、角の作業で現れる。D₂はD₁に似るが線状痕による凹凸がより激しい。骨、角を切る作業に見られる。E₁は広がり、弱いやや丸味を帯びた光沢面で、肉、生皮で現れる。E₂はピットの多い粗い外観の丸味を帯びた光沢面で、乾いた皮の作業に見られる。F₁, F₂は発達の初期段階に見られる光沢面、Xは土との摩擦、Yは自然礫の表面に見られる光沢面である。

以上の光沢の特徴は細部では食い違いがあるものの、多くの研究者によって世界各地のシリカ質堆積岩に共通に認められている。光沢の特徴の記述法については、一部で画像処理が試みられているが、⁵⁾今のところ各人が上述の様な主観的表現による定性的記述を行っている状態である。また欧米の研究者の場合光沢のタイプに、corn gloss, wood polish, bone polish 等、被加工物の名前を直接冠しているが、我々の実験では、各光沢タイプは被加工物のタイプに完全に1対1の対応を示しておらず、確率的な対応であり、中間的なタイプも存在する。^{3,4)}したがって我々の方法がより適切である。

各タイプの光沢はある程度発達した段階でその固有の特徴が明らかになってくる。粒度の粗い岩石では発達が遅く、被加工物中に水分が多いと発達が早い。砂等が混入すると、線状痕やピットが増え、粗い外観を呈するが、被加工物に対応した各タイプの固有な特徴は基本的には変わることがない。作業が進む程、各タイプとも滑らかさを増す。

なお、百倍以下の実体顕微鏡でよく観察される微小剝離痕(刃こぼれ microflaking, microchipping)は、光沢に比べてパターンの被加工物や作業方法への対応が弱く、製作中や埋没後の偶発的、非人為的な要因でも生じやすいので、最近は基準としてあまり使われない。

さて、このような使用痕光沢はなぜ生じるのだろうか。この問題は考古学者の手にあまるようにも思える。形成機構が分からなくても考古資料の同定に利用できる基準が現象として把握されれば良いのであって、我々はまだ遺物の分析に進むべきだという楽天的な意見もあろう。しかし、このような意見は、石器の使用痕から過去を復元する前に為さなければならない手続きが技術的にいかに複雑であるかについての認識を欠いていると言わざるを得ない。物の表面で起こる現象は複雑であり、かつ我々の資料は何千年、何万年も土中に埋まっているのである。実際、より細かい被加工物の同定が可能であるか、中間的な光沢タイプをどう理解するか、被加工物・原石等の実験枠の拡大、画像処理の可能性、自然の表面変化等、現在直面している全ての問題の基礎に、この未解明の問題がある。

このような問題の解決には、まず使用痕光沢の細部の特徴を明らかにしていく必要があるが、倍率、焦点深度の劣る光学顕微鏡では限界があり、走査電子顕微鏡を用いることが必要になってくる。

次にこれまで提出されてきた使用痕光沢の形成機構の仮説を検討し、筆者自身の観察結果に基く形成機構を考えるが、その前に様々な分野の読者のためにいくつかの関連する専門領域について簡単な解説を加えておきたい。

2. 関連領域の解説

① 走査電子顕微鏡 (scanning electron microscope=SEM),

電子顕微鏡は光を使う通常の顕微鏡 (光学顕微鏡 optical light microscope=OLM) の代りに電子線を照射して観察する顕微鏡で、OLM 同様、薄い試料の組織を観察する透過型と厚味をもった物の表面を観察する走査型の二つのタイプがある。OLM に比べ、倍率、分解能、焦点深度が格段に優れている。焦点深度の浅い OLM では、凹凸の多い岩石表面を五百倍以上で観察することはほとんど不可能であり、また一般に千倍以上では倍率を上げてても分解能はもう上がらない。

電子は大気中ではやっと数ミリ程度しか進まないで試料室は真空に保たれる。SEM は表面に電子線を照射し、発生する二次電子や反射電子によって画像を得るが、岩石等の非導電性材料ではそのままでは表面に電荷がたまり (チャージ・アップ)、ハレーションが生じて明瞭な画像が得られない。この場合、予め表面に金属の薄膜を真空蒸着する。蒸着膜には、通常、金、白金等が優れているとされる。また、二次電子の発生に伴って発生する各元素に固有な波長を持つ特性X線を検出する装置を接続することにより、観察部分の元素組成を知ることが可能である (energy dispersive analysis with X-rays=EDAX)。この場合の蒸着は炭素を用いる。

② シリカ質堆積岩

チャート、玉髄、碧玉、めのう、珪質頁岩等の岩石は主に石英の、潜晶質と呼ばれる微細結晶の集合体から成り、純度の高い場合はほとんどがシリカ SiO_2 である。欧米でフリントと俗称される石は多くはチャートの一種のようである。我々が主に実験を進めてきたのは東北地方の石器時代に最も多く使われた珪質頁岩で、これは堆積岩の頁岩 (粒度は泥岩～シルト岩) が火山活動に伴う変質によって珪化したもので、チャート等と比べるとややシリカの純度が落ち、不純物が多い。さらに珪化が進むと玉髄、碧玉、めのうに変化する。

微細結晶がランダムな方向で集合しているため、全体としては力学的に等質等方性を示すぜい性材料である。

③ 摩 耗

摩擦、摩耗の問題は機械工学をはじめ、多方面で扱われており、この分野はトライボロジ Tribology と総称されている。これはギリシャ語の摩擦を意味する Tribos に由来し、ここ20年程の新しい用語である。

トライボロジでは摩耗は「摩擦による固体表面の逐次減量現象」⁶⁾ と定義される。「逐次」という語が重要で、石器の刃に生じる微小剝離痕 (刃こぼれ) は破壊 fracture であって摩耗 wear ではない。すべり摩耗は基本的に1)凝着摩耗 adhesive wear, 2)引掻き摩耗 abrasive wear, abrasion, 3)腐食

摩耗 corossive wear, 4) 疲れ摩耗 fatigue wear に分類される。⁷⁾ このうち2) は最も普通に想定される硬い物体による切削作用による摩耗で、1)は接触面で分子間凝着力が働き、一方の材料が他方に引きちぎられるというもののだが(図12)、その実態はあいまいである。1)では潤滑剤の使用により摩耗が減少する。

さて、上記のようにトライボロジでは英語の abrasion という語は摩耗 wear の一形態なのだが、石器の使用痕研究では、一般に微小剝離痕を含めた刃部の変化を機構に関らず use-wear と総称し、摩耗の意味に abrasion を使っている。使用による刃端の丸まりは現象的に rounding と呼ばれ、後述する使用痕光沢のシリカ・ゲル沈積説を採る研究者にとっては必ずしも摩耗の結果であることを意味しない。また、われわれは金属顕微鏡下で光って見える平坦面を 実際にはかなり粗くとも polish (光沢)と呼んでいるが、トライボロジではレンズ面の仕上げのような、遊離砥粒による高度に滑らかな面の仕上げ過程を polishing (研磨)と呼ぶ。

こうした用語の違いは、使用痕光沢の形成機構を考える研究においては十分注意しなければならない。最近、使用痕光沢の形成機構の議論が盛んでありながら、この点が問題にされないのは、研究者のトライボロジへの関りが薄いためである。

④ 植物珪酸体

高等植物の細胞組織に充填する非晶質含水珪酸 ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) と定義され、大部分の植物に沈積されているが、特にイネ科、カヤツリグサ科の一部等で集積が高く、時に属・種レベルで形態に違いが認められ、風化抵抗性が強いことから、古環境の復元や栽培植物の検討に盛んに利用されている。大きさは $2\text{ }\mu\text{m}$ 以下から $200\text{ }\mu\text{m}$ 以上に及ぶ。⁸⁾

3. 使用痕光沢の形成機構の諸仮説

欧米でコーン・グロス (corn gloss 穀物光沢) などと呼ばれる A タイプの光沢は肉眼でとらえられることから、既に19世紀の末から注目され、その形成機構も素朴ながら議論されてきた。これについては G. ダイヤモンドの論文⁹⁾ に紹介されている。その他の光沢のタイプの存在はキーリーに至るまでは明確にされなかった。

今日の使用痕研究の創始者ともいえるセミュノフは、光沢を摩耗と捉え、そのスケールに応じて、polishing, grinding, rasping の3つに分類した。¹⁰⁾ 最も微細な polishing においては表面の塑性変形も考えられている。

有名なウィットホフトの1967年の論文はコーン・グロスは摩擦熱によるフリントの融解で、植物中の珪酸も融けて加わり、付着的な層を成すと考えている。¹¹⁾ 石器は作業と共に体積と質量を増す。この説には多くの難点がある。

1977年にカナダで開かれた初の使用痕会議の論文集 Lithic Use-Wear Analysis¹²⁾ では3人の著者が光沢の形成機構を考察している。

カミングはコーン・グロスを phytolith polish, その他の光沢を abrasive smoothing と分類し

た。¹³⁾ 前者については SEM の観察を行い、その結果、ガラスの研磨機構のモデルを適用する。即ち、表面に加水分解により軟らかいシリカ・ゲルの層が形成され、それが削りとられていく。植物珪酸体 (phytolith) が砥粒として働く。後者は砂や埃、刃こぼれの屑等による摩耗面で、考古学者は polish と呼ぶが、ガラスの研磨 polishing の前に行われる研削 grinding の段階に類似するという。

ダイヤモンド⁹⁾ はそれまでの光沢形成機構の研究史をまとめ、自らは1)ラビノヴィッツ¹⁴⁾ による金属の研磨モデル、2)疲労によるピット、3)疲労による刃こぼれ、の組合わせを可能性として挙げる。2)は彼自身、存在を確認してないし、3)の例として示された写真は摩耗した通常の刃こぼれである。1)は引掻き摩耗の特別な形態で、表面の微視的な塑性変形を含むが、岩石の場合は塑性変形は疑問であり、砂や埃による穏やかな引掻き摩耗と考えられ、それゆえ光沢の上には擦痕の存在が期待されている。彼は SEM は使っていない。

デル・ベヌは SEM を用い、線状痕と光沢について考察している。¹⁵⁾ 光沢は沈積光沢と機械的光沢に二分され、前者は植物珪酸体等の表面への積み重なりから成るもので、後者は大部分の光沢を含み、摩耗と表面の流動から成る。表面の流動は塑性流動か融解か不明だが、光沢面に線状痕が少ないことから、摩耗よりも重視される。

以上の3人の場合は不十分な観察に基き、関連する既存分野のモデルを充てはめており、現象それ自体の素直な観察を欠いている。まだキーリーの方法が普及していない時期であり、被加工物ごとの光沢タイプの存在が明確に認識されていない。ただし、トライボロジの知見については比較的正しく把握している。

キーリーの確立した方法による光沢の観察を踏まえ、大きな模範で SEM の観察と EDAX に取り組んだのが、アンダーソンである。¹⁶⁾

彼女の説は使用痕光沢は使用中にフリント表面が加水分解してできたシリカ・ゲルの層で、その中に被加工物から取り込まれた植物珪酸体や骨・角などの無機質の数 10 μm のオーダーの微細な残滓が埋まり込んでいるというものである。先述のカミंगाとの違いは、表面に形成された水和層が削りとられていくのではなく、光沢はそのゲル層そのものである、という点である。より詳細な被加工物の同定が可能になるということで、大きな話題を呼び、今も研究者に強い影響を与えている。

彼女はまず OLM 下の観察で、1)光沢は乾燥状態より水分が多い時に発達する、2)草による光沢は表面に積み重なって見え、過酸化水素、塩酸で除去できない、3)木による光沢も、しばしば付着的に見える、4)骨、角による光沢は塩酸で粗くなることを確認した。SEM の観察では、使用痕光沢は溶解したフリント表面のように見え、時に 10 μm にも達する厚さを持つように見える。石器の断面に光沢の層を SEM で観察したニューカマーの報告¹⁷⁾ が引用される。また表面に植物珪酸体などの無機質の残滓が固着し、あるいは光沢のガラス状の層に沈みこんでいるように見える。前記1)を考慮すると、結局ガラス状の溶解した領域は非晶質のシリカ・ゲルの典型的な特徴を示し、表面に見られる凹凸は非晶質シリカの特徴的な再結晶化のパターンであるシリカ華とされる。表面の溶解に寄与す

る要因として、フリントの潜晶質構造による表面積の増大と熱の蓄積、被加工物中の水の量、硬さと構造の規則性、摩擦と熱、植物中の酸などの組み合わせが想定されている。植物の作業の場合は、植物中の非晶質シリカも付着的要素として光沢層の形成に加わることが考えられる。また、3)は表面に固着していたカルシウム、リンを含む微細な残滓が除去されるためである。摩耗については草や木による光沢では線状痕が稀にしか発見されないことから主要な機構ではないと考える。摩耗だけでは、表面の溶解、再結晶化、光沢の積み重なり、表面に固着した残滓の存在を説明できないという。

さて、以上のようなアンダーソンの立論の過程は妥当であろうか。まず滑らかな表面の外観を、シリカの溶解と決めつけているが、それはまさに証明すべき対象である。また、後述するように光沢が付着的に見えるのは錯覚である。水分が多いと光沢が発達するという事実は彼女によれば光沢に水が含まれることになるが、水は潤滑剤として働くのかもしれない。残る根拠は残滓が表面に沈み込んでいる以上、それを可能にするゲル層がなければならないというものだが、これも後に指摘するような問題点がある。光沢形成に寄与する要因も、可能性のあるものを列挙しているにすぎない。

マンスール・フランコムはアンダーソンの説を受け継ぎ、線状痕の形成過程と微細な残滓について新たなモデルを提示した。^{18,19)} 彼女もまた相当数の SEM の観察と EDAX を行ったようだが、アンダーソンの仮説を批判的に検討せず、逆に分析結果をアンダーソンのモデルで解釈している。即ち、表面の溶解やシリカ華が観察され、EDAX で光沢の成分は珪素であり、水が多い程、光沢が発達することから、前述のモデルが確認され、「摩耗光沢の仮説は完全に廃棄されなければならない」¹⁹⁾とまで述べている。彼女は乾燥皮、乾燥皮と水、乾燥皮と石英砂、乾燥皮と水と石英砂の組み合わせによる4つのグループで作業実験を行った。¹⁸⁾ その結果、水分と砥粒（石英砂）がそれぞれにフリント表面の溶解を促すことが確認された。各グループで現れた線状痕のタイプから、線状痕の形態は作業中のフリント表面のゲル化の程度に依存するという仮説を導きだした。即ち、作業中の表面の状態には1) fluid-gel, 2) intermediate-gel, 3) solid-gel の3つの状態がある。1)は光沢即ち表面の溶解が最大に進み、ほぼ液体状態で、刻まれた線状痕はすぐに消えてしまい、ほとんど残らない（コーン・グロス等）。3)はほとんど溶解しない固体に近い状態で、粒子の脱落による粗い底部の線状痕を生じる。2)はその中間で、滑らかな底部の線状痕を生じる、という明快なものである。石英砂から溶け出したシリカも光沢に加わり得るという。また、新たなタイプの微細な残滓が発見された。EDAX で有機質またはカルシウム、リンを含むが H_2O_2 や HCl の処理に耐えたことから、表面を非晶質のシリカで覆われているという残滓である。

しかし、この説もアンダーソンの説に立脚している以上、同様な難点がある。その仮説からすれば、発達した光沢は形成し得る線状痕以上の厚さ（1~10 μm 程度）を持たなければならないはずである。またこの考えでは発達した光沢程、作業の進行と共に表面の流動が大きくなるはずだが、実際には逆に光沢は発達し滑らかになるほど変化に乏しくなることが OLM 下で観察されるのである。さらに、それ程大きなスケール（10 μm という厚さは表面層としてはかなりのものである）で表面の‘流動’

が起きるなら、各被加工物に特有な光沢のパターンは失われてしまうだろう。アンダーソンもマンズールもなぜ被加工物に固有な光沢が現れるかについて有効な説明をできない。また、砥粒がシリカの溶解を促進するとし、摩耗を促すとは明確には述べていないが、もし、一方で石器の刃端の丸まり等から摩耗の存在も認めるなら、表面が減っていくことと、表面に厚い層が形成されていくことの関係をどう統一して説明するのだろうか。

ミークス²⁰⁾らの論文はコーン・グロスの形成機構について重要な意見を述べている。彼らはコーン・グロスを帯びた実験品と遺物の多数の石器の断面を SEM で観察したが、この分解能 (200Å , $1\text{Å}=10^{-4}\mu\text{m}$) の範囲内にコーン・グロスの層は認められなかった。彼らによればアンダーソンの引用したニューカマーのコーン・グロスの層の報告は現在では石器を折る際の破壊による縁の損傷と信じられているという。彼らはダイヤモンド・カッターで刃部の数ミリ以内まで反対側から切り込み、一軸引張りにより石器を分割した。彼らはアンダーソンが観察した $10\mu\text{m}$ にも達するコーン・グロスの沈積は、微小剝離痕の縁の段が研磨され丸くなったのを誤認したものと解釈する。OLM 下で光沢が厚さを持っているという観察は、フリントの半透明性と丸みを帯びた研磨面による錯覚であると考ええる。彼らは摩耗によって線状痕やピットが生じ、光沢は併発する研磨 polishing の結果であり、その過程では化学変化も生じていると考えている。ダイヤモンド・ペレットを研磨剤として、研磨砥石でコーン・グロス類似の光沢が得られ、摩耗説が裏付けられたとする。

マッソン²¹⁾はシリカ・ゲル説の支持者が摩耗を過小評価することを批判する。関連分野の研究成果から、このような面で生じる非晶質の層は Å のオーダーであり、実際に X 線回折ではコーン・グロスから非晶質のパターンは得られなかったと報告する。焼けたフリントの表面にも非晶質層は検出されないことから、使用中の熱によるシリカ鉱物の構造変化も考えられない。また、非晶質シリカの化学的性質を考慮すると、考古資料では形成後すぐに洗われてしまうか、埋没中に変質すると考えられ、残滓の遺存すら危ぶまれる。考古資料の上に非晶質層を検出しても、埋没中に沈積した可能性があるとする。コーン・グロスの表面を、自然の摩耗の光沢面と比較しても、やはりそれは摩耗面と解釈され、水分による光沢発達の効果は、被加工物の可塑性の変化による接触面積の増大であるとする。

アンガー・ハミルトン²²⁾は少数の SEM の観察ではあるが、アンダーソンの報告した植物珪酸体によく似たものが、未使用のフリントやフリント同士を摩擦した表面にも見られることから、岩石中に本来含まれていた有機残存物（化石）等を残滓と誤認する危険性を指摘する。しかし非晶質シリカや植物珪酸体の存在は否定できず、X 線回折に現れない Å オーダーの薄い非晶質層の、フリント表面及び残滓と表面の隙間への沈積により、残滓が埋まり込んでいるように見えるとする。論文の副題が示すように、光沢を摩耗と沈積の両方によると考えている。

以上、摩耗説とアンダーソンらのシリカ・ゲル説が対立している。

Ⅱ．試料および観察法

実験の内訳は、ススキ4点、木1点、煮た骨3点、水漬けの鹿角6点、乾燥皮3点、ぬれた皮5点である。石器の運動方向は骨・角各1点が刃に垂直な方向である他は、すべて刃に平行である。石材は主に、山形県寒河江市の最上川産の珪質頁岩製の実験試料で、一部、栃木県産のチャートも使われた。実物の石器も6点観察されたが、ここでは実験試料のみ扱う。初めに金属顕微鏡の観察で1点につき数ヶ所を選んで200倍で写真を撮り、ついで同じ個所をSEMの同倍率で並行して撮影した上で、倍率を段階的に上げて撮影した。観察倍率は150倍～10,000倍で、多くは5000倍までである。蒸着は金、銀を使用した。使用したSEMはJEOL・JSM・T-200で試料台が3つあり、最大の試料台では127.5φ×25.5H(mm)までのかなり大きい試料の観察が可能だが(面内移動はX-Y面で40mmまで)、この試料台は回転できないので立体写真が撮れず、ワーキング・ディスタンスも大きい(48mm)ので分解能も若干劣る。そこで立体写真の撮影とより高い分解能のため20mmのワーキング・ディスタンスの小型の試料台を主に用いた。予め小さな石器を用意するため、実験は実際の使用法に比べやや不自然になるので、作業量は通常の実験に比べ、同じ数値でも実際の量はずっと少ない。しかし、研究の目的上、光沢さえ得られれば良いので、さしつかえない。また観察に時間がかかり、多量の観察をこなせないで、光沢の1タイプごとの観察数を増やすため、全てのタイプを網羅していない。他に未使用の表面、礫の外皮、有機物による擬似光沢、鹿角ハンマーの残滓、石同士のごすり合わせの痕跡等も観察した。撮影したSEMの写真は総数で2600枚以上に及ぶ。

Ⅲ．観 察 結 果

1. SEM による使用痕光沢の特徴

図3-1・2は光沢の同一箇所を200倍のOLMとSEMの写真で比較したものである。OLMで白く見える光沢部分がSEMでは逆に暗くて見えにくい。突出部や縁が電子を多く発生して明るくなるSEMの画像の‘エッジ効果’のため、平坦な光沢面が未使用のざらついた面より相対的に暗くなるのである。またピントの合う範囲が広いため、OLMのように光沢面のみ強調されることがない。500倍以上になると、光沢面の特徴が明瞭になってくるが、視野が狭くなるため、広がりのパターンがつかみにくい。発達した光沢では5000倍以上に拡大しても、平坦な面が広がるだけで、新たな特徴は見出されない。深い焦点深度と影の無い絵のような画像のため、OLMに比べて立体感が失われ、線状痕等は識別しにくい。

図3-3は線状痕を伴う光沢面と左下の未変化の剝離面(破面)の違いをよく示している。マンスール・フランコム¹⁹⁾はSEMによる光沢の観察で、多少とも溶けた表面の外観のみが識別され、被加工物に関係するいかなる同定もなしであったと述べ、したがって光沢の形成機構は全て同じでOLMでのタイプの違いは部分的には光沢層に含まれている被加工物の残滓の存在と、また被加工物に対応する、程度の異なった溶解、広がり、分布によるとしている。確かにSEMではどのタイプの光

沢も同じように平坦な面として見える。しかし、よく観察すると、先述した画像の性質のために見えにくくなっているが、OLM で観察された特徴に対応する特徴が SEM でも存在していることがわかる。特に、丸味をおびると記述されてきた植物による光沢、平坦な骨・角の光沢が実際にそのような起伏を持つ傾向があることが確認された（特に立体写真の観察）。これは梶原・阿子島の表面粗さの測定結果²³⁾と一致する。皮の光沢もやや丸味をおびる。光沢タイプの差は単なる平面的な光沢の広がり差ではない。

アンダーソンやデル・ベースは光沢面に線状痕が少ないことを理由に摩耗を重視しない。確かに、発達した光沢ではあたかも表面が溶けたように滑らかで、線状痕がほとんど見当たらない。しかし、よく見ると線状痕は存在していることがわかる。むしろ、OLMの方が焦点深度が浅いため、わずかな表面の凹凸をも強調し、SEMではただ滑らかに見えるコーン・グロスにも線状痕があることを明瞭に示す。

線状痕には光沢上の溝状の傷、線状の光沢、光沢面の帯状の広がり等いくつかの種類があり、異なった名称が冠せられることもあるが、我々はこれらを一括して線状痕と呼ぶ。OLMではこれらを厳密に区別することが困難だからである。SEMの観察ではその困難さがいっそう明らかになる。溝状の線状痕の底も実際には滑らかな光沢面であり、多くの写真を検討すると、線状痕によって滑らかになった面の連続が光沢面となっている状態が見られる（図4）。線状痕の大きさは幅 $1\mu\text{m}$ 以下から $10\mu\text{m}$ 程度まで様々だが大きな線状痕の内部には多数の小さな線状痕がある（図6）。非常に滑らかな光沢も実は極めて微細な線状痕から成っており、腐食すればガラスの研磨面の潜傷のようなものが現れる可能性がある。線状痕と光沢は不可分の現象である。

マンスール・フランコム²⁴⁾は、OLMで線状痕を4大別、13細分し、光沢形成機構の仮説の基礎に使っているが、OLMではそもそも線状痕の形態自体が正確に把握できないので問題がある。光沢が付着的に見えるという観察も問題である。写真とスケール・マークを見比べてみれば、付着的な要素があるとしても $10\mu\text{m}$ にも及ぶようなことは考えられない。付着的に見えるのはもともとの表面の微起伏と、植物等による丸い光沢面の仕上がりによる錯覚で、この点については先述のミークスらの見解が妥当である。外観のみからは断じられないとしても、多くの写真の観察は、光沢面は摩耗的であることを示している。OLMの観察で、多くの人が光沢が厚味を持っているような印象を受けるのは浅い焦点深度により光沢面が浮き上がって見えるためである。SEMの観察では少なくともそれ程の厚さは無いことがわかる。

同様な錯覚の例として、乾燥皮の作業でよく現れる円形の小さなピットがある。キーリーはこれを熱による焼けはじけのピットかもしれないと考えたが、²⁵⁾ SEMで見ると円形に見えるのは錯覚で、実は通常の不整形なピットにすぎないことがわかる（図3-1・4）。

以上、まだ写真の分析が充分進んでない面もあるが、SEMの画像で被加工物を同定することはかなり難しいだろう。もともと、光沢タイプは被加工物に1対1に対応するわけではないし、これまで

のタイプ設定は数百 μm の範囲での光沢の広がり方が考慮されている。1000倍以上の時の狭い視野では同じ石器でも観察した場所による変化が大きい。光沢面の凹凸の特徴も OLM に比べ捉えにくい。さらに、試料の準備・観察に時間がかかり、大きな試料が試料室に入らないこと、観察時の画像が不鮮明で写真によらないと細かい判断が下せないこと等を考慮すると、OLM が考古資料の観察の主体となり、SEM は補助的手段とならざるを得ない。しかしながら本稿のような使用痕の基礎研究においては SEM は大変有効である。

2. 銀蒸着の効果

初期の観察には金の蒸着膜を用いたが、観察後に試料表面を著しく損うことなく除去することができない。これでは OLM のように同じ箇所の変化を実験しながら連続して観察できない。膜に傷がついたり、古くなった場合、新鮮な状態で再度観察できないのも不都合である。また考古資料の場合は蒸着によって表面が変色したままになる。

この点を銀蒸着によって改善できることを確認した。銀蒸着膜は H_2O_2 の処理によって石器表面をほとんど損なうことなく除去できる。 H_2O_2 は OLM のレベルで、有機物の汚染を除去する際に光沢面を損わず有効であることが報告されてきたが²⁰⁾ SEM のレベルでも確認する必要があるわけである。

その結果、この珪質頁岩によく含まれている化石と推定される球状の含有物（図 5-1）が崩壊する他は、顕著な変化を生じないことが確認された。ただし度重なる処理はわずかなパティナ（多孔質化による白色化）を生じる。 H_2O_2 の処理は約 10 wt %、10分程度の煮沸で充分であるが、そのままでは試料表面に汚染が残る。汚染源は崩壊した含有物の残滓や断定はできないが蒸着膜の残滓の再付着と考えられ、超音波洗浄でも除去できない。工業用のティッシュ・ペーパーにアセトンをつけて拭きとるのが効果的である。

この方法により、いくつかの重要な問題へのアプローチが可能になる。

3. 使用痕光沢の形成過程

さて、使用痕光沢の形成機構は何だろうか。銀蒸着を行い、石器の同じ箇所が作業と共にどう変化していくかを SEM の拡大された像により、立体写真で追跡すれば、付着や摩耗の様子が観察されるかもしれない。もしアンダーソン、マンスール・フランコムシリカ・ゲル説が正しければ、よく発達した光沢では作業の度に線状痕やピットの在り方が大きく変わっているはずである。摩耗説が正しければ、表面の特徴が位置を変えずに徐々に滑らかになっていくだろう。

これは理論的には簡単だが、やってみると仲々難しい。石器を全方向に回転できる試料台に固定するのだが、毎回厳密に同じ角度に置くことができない。すると特に刃の縁の線が固定角度の誤差によって後退し、あたかも摩耗した様な印象を与えることがある。したがって、あまり微妙な変化は判断の材料に使えない。また、度重なる洗浄や観察の際に刃を痛める危険性が高くなる。そこで、ススキ 4 点、骨 2 点、皮 2 点の実験のうち、最初の 2 点以外は石器背面中央の稜線を使って実験をした。こ

うすると試料の固定角度がより安定し、事故の危険も減る。

倍率は3500倍が最適で、5000倍以上では有効な立体写真の連続撮影が難しく、試料の固定角度の誤差も大きくきいてくる。1000倍程度の写真もより広い範囲での変化を知るのに有効である。また、読者は SEM の写真に平行して、OLM の写真でも光沢が発達していく様子を示すことを期待するかもしれないが、これは難しい。というのは、OLM でまだ光沢が未発達でタイプが識別できない段階でも SEM の高倍率の視野では既に光沢がかなり発達し、時に被加工物の特徴も識別し得るからである。即ち、OLM で示された光沢の発達段階は SEM のそれと平行せず、ずれているので、並べてもあまり意味がない。

それにできるだけ広い範囲にピントを合わせたきれいな OLM の写真では SEM で撮影した箇所はたいていボケている。

光沢面の観察が目的なので、試料は観察前に毎回 H_2O_2 とアセトンによる手拭きで洗浄した。骨の場合は HCl の洗浄も加えた。

観察の結果は、摩耗が支配的であることを示す。例えば図8の1と2では必ずしも摩耗か付着かは区別できないかもしれないが、2と3を比べると、印をつけた2つのピットの右下の高まりが3では失われている。この変化を付着によると考えるなら、2つのピットを残したまま、その周辺が盛り上がったことになり、極めて不自然である。さらに1と4の刃の縁の後退を見れば摩耗は明らかである。付着的な要素があるとしても $1\mu\text{m}$ 以下の極めて小さなオーダーである。また、3のピットが4でも保存されているので、このピットの大きさのオーダーでの表面の流動は起きていないことがわかる。摩耗は図9でも明瞭に観察される。ほとんどの写真で運動方向に伸びた線状痕が見られることから引掻き摩耗が支配的と思われる。

線状痕を伴う引掻き取りと共に、もうひとつのタイプの表面損傷が観察される。図8-4では新しいピットが生じている。図10ではより大きな脱落が認められ、図9では次第に少なくなっていくが、毎回新しいピットが生じている。 H_2O_2 の効果も若干あるかもしれないが、これらは表面からの粒子・粒子塊の脱落や摩耗の進行と共に内部の空隙が露出したことを示す。こうしたピットの存在は光沢面直下が岩石本来の構造で、ガラス状の層は存在しないことを示している。

1点につき数ヶ所を様々な倍率で追跡観察を行ったが、観察が成功するかどうかは、その部分がどう変化するか、基準となるピット等の特徴があるかなどの偶然的な要素に左右される。また作業中の観察の間隔のとり方も難しい。変化が乏しくは分からないし、変化しすぎても分からない。したがって撮影した写真のすべてが判断に使えるわけではないが、多くの写真が上述の摩耗の特徴を示す。付着や表面の流動の証拠を示すものは1つもない。粗い表面が次第に滑らかになっていき、滑らかになるにつれ変化に乏しくなる。時に表面の様相が一変することがあるが、これは流動ではなく摩耗が大きく進行したためと考えるのが合理的である。理論的には引掻き摩耗は微視的な塑性変形を前提としているが、非常に小さなオーダー (μm 以下) で起きている現象はこの方法では観察できない。

4. 残 滓

筆者は植物珪酸体やシリカ華については同定能力を持たない。したがってアンダーソンらの同定結果を否定する資格を持たない。しかし、これまでの観察でそれらしいものを発見できなかった。マンスール・フランコム²⁷⁾によれば、被加工物の細かい同定が可能な植物の残滓は1つの刃に幾つかあるだけだが、その他の残滓はかなりの頻度で見つかるはずなのだが。

H₂O₂ の処理を行わず、石けんとアルコールの洗浄のみの試料では確かに残滓と思われる繊維状の屑等の付着が比較的多く認められる(図7)。しかし、それは光沢と未変化部の漸移帯で、微起伏の間にひっかかったようなものが多く、光沢に埋まり込んだ状態のものは1つも無い。H₂O₂ で処理した試料にはこうした残滓もほとんど見当たらないので、有機質の残滓なのだろう。

筆者は植物珪酸体等の残滓が刃部にこびりつくことは可能だと考える。実際、骨や角、そして石同士の摩擦では無機質の残滓が表面にこびりつき、擬似的な光沢面を形成することがある。石による光沢面がこすると変形する^{28,29)}のはそのためである(筆者はかつて脱脂綿等軟らかい物との摩擦で生じる擬似光沢を軟質の粒子が変形して蓄積したものと考えたが、²⁹⁾ 現在はこれは有機質の残滓の蓄積と考えているので訂正したい)。しかし、光沢層に埋まり込むことは不可能である。そのような層が無いからである。

“光沢に埋まっている残滓”については先に紹介したアンガー・ハミルトンの指摘——岩石の含有物を誤認する可能性が挙げられる。珪質頁岩の球状の化石(?)も H₂O₂ で処理しなければ残存して光沢とともに表面が摩耗している(図5-2)。報文による限りアンダーソンは遺物の H₂O₂ 処理をしていない。またアンダーソンのいう表面に溶け込んだ残滓の或るもの³⁰⁾ は、筆者には研磨された表面の微起伏にしか見えない。アンダーソンもマンスール・フランコムも岩石の含有物について何ら言及していないので、彼女らの同定した残滓のうち、少なくとも幾つかは岩石の含有物、あるいは表面構造かもしれない。また H₂O₂ の処理が充分でなければ有機質の残滓が残る可能性もある。蒸着膜の除去の際、沸騰させないと試料表面に泡がついたままになり、その下では反応が進まないことが観察される。さらに、同じ個所を繰り返し観察していると偶発的な要因による表面の汚染の頻度が決して少なくないことも知られる。これはあらゆる微小残滓の分析にあたって注意を要することである。

そもそも、同定された残滓が作業で形が崩れたり、表面に埋まっているというなら、それを残滓と同定する根拠はきわめて弱くなるのではないだろうか。

Ⅳ. 考 察

以上の結果から光沢の形成過程が全体として摩耗であることは明らかになったが、非常に微視的に見て、鏡のような滑らかな面がどのように形成されるかについては、さらに検討の余地がある。トライボロジで研磨 polishing と呼ばれるこの工程では、微小な引掻き摩耗、塑性流動、融解による粘性流動、化学反応等の諸説が挙げられている。ガラスでは、表面の水和層を砥粒が削り取るという、カ

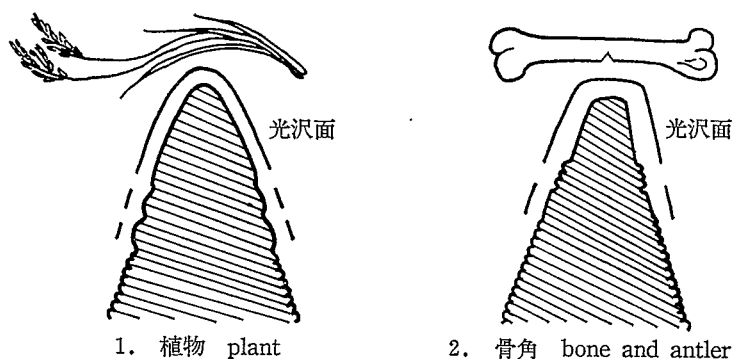


図1 摩耗した刃部の断面

Fig. 1. Cross sections of worn edges

ミンガが紹介した化学反応説が最近では有力なようである。³¹⁾ 同じシリカ質である点を考えるとこのモデルが適用できるかもしれないが、今回の方法ではこの点までは明らかにできない。何れにしろ、OLM で確定される光沢タイプの特徴は $10\ \mu\text{m}$ 以上のオーダーで決定され、このオーダーでは摩耗が光沢の形成機構であることに変わりはない。線状痕が多いことから引掻き摩耗が支配的と見られる。

この過程で観察された、線状痕とピットを残す2種類の表面損傷は、岩石と同じぜい性材料であるセラミックスの引掻き摩耗で知られている切削タイプとぜい性破壊タイプの表面損傷に対応する可能性がある。後者は初期表面亀裂の底端において、応力拡大係数が臨界値に達することによってぜい性破壊が生じるというものである(図13)。しかし岩石のような微視的にはかなり不均質な材料にこのモデルが適用可能かは検討の余地がある。乾燥皮の作業ではピットが多く、摩耗量も多いことが知られているが、³²⁾ SEM の観察でも摩耗量が多い印象を受ける。‘ぜい性破壊タイプ’の表面損傷が起きやすい可能性がある。

水が光沢面の形成を促進する効果については、まず水が被加工物の粘弾性を増し、石器の刃になじませる——接触面積を増やす——ことが考えられる。また、引掻き摩耗に特徴的な逆の潤滑効果³³⁾ (水をつけると刃物が良く砥げるように、潤滑剤で滑りが良くなることにより、かえって良く削れる)が働くのかもしれない。潤滑剤はぜい性破壊によるピットを減らす効果もある。ぬれた皮では乾いた皮より滑らかな光沢面が発達するのは、この効果と関係するのかもしれない。また、化学反応が起きているとすれば、軟らかい水和層の形成を促進し、摩耗量を増大させることも考えられる。

植物、皮、肉等の粘弾性の高い被加工物では丸味を帯びた光沢面が仕上がり、骨・角等粘弾性の低い被加工物では平坦な光沢面が仕上がることから、研磨材である被加工物の性質が重視される。シリカ質堆積岩とかなり共通した、被加工物に対応する摩耗面が粘板岩、³⁴⁾ 天然のガラスである黒曜石³⁵⁻³⁷⁾にも現れることは、被加工物の影響の大きさを示している。使用痕光沢のタイプは研磨材として働く被加工物の硬さ、粘弾性的性質、表面状態によって主に決定され则认为られる(図1)。木と

骨・角による光沢が時として区別が難しく、土による光沢が木や皮、肉による光沢に似ることがある³⁸⁾ のもこの考えでうまく説明される。ちなみに、黒曜石の破面は滑らかで、摩耗の各種の痕跡が明瞭に観察され、被加工物ごとの摩耗形態について、多くの情報を与えてくれることが期待される。

石器の表面を引掻く物は何だろうか。たいていの被加工物は巨視的には石器より軟らかいので、刃こぼれによる石器自身の屑や砂・埃等が多くの研究者によって挙げられている。植物珪酸体はモース硬度5～6で、フリント（硬度7）より軟らかいので否定的な意見もある。³⁹⁾ 確かに石器自身の屑や砂は遊離砥粒として研磨材（ポリッシャー）である被加工物に埋め込まれ、摩耗を促すと考えられるが、これらはかなり粗い線状痕（図12-2）に対応すると思われる。砂や巨視的な埃の無い状態でも被加工物に特徴的な光沢は生じる。筆者は被加工物自体が石器の表面を引掻いているのではないかという印象を受ける。それが硬い物が軟らかい物を引掻くという引掻き摩耗の理論に整合しないとすれば、化学反応によって軟らかい水和層が形成され、それが掻き取られていることが考えられる。

V. 結 論

SEM による珪質頁岩製石器の実験使用痕光沢の観察により、以下のように光沢面が摩耗により形成されることが証明された。

1. OLM で記述されてきた、いくつかの光沢タイプの特徴が SEM で確認された。特に光沢面の断面形状には特徴がある。植物による光沢面は丸く、骨・角のそれは平坦である。光沢タイプの差は単に平面的な広がりとの差ではない。ただし、画像の性質により、光沢タイプの同定はOLMより難しい。

2. 光沢が厚味のある層を成すという観察は、光沢面の丸い仕上がりで、試料表面の微起伏、OLMの場合は浅い焦点深度からくる錯覚である。光沢面は連続した線状痕によって構成され、摩耗面的外観を示す。

3. 銀蒸着膜は H_2O_2 による煮沸とアセトンによる手拭きで、岩石表面をほとんど損うことなく除去できることが確認された。この方法は使用痕光沢の研究において様々に利用できる。

4. 銀蒸着と立体写真による光沢面の形成過程の連続的な観察は、光沢面がトライボロジでいう引掻き摩耗によって形成されることを示す。表面に μm オーダーのゲル層や塑性流動は観察されなかった。2種類の表面損傷が観察された。線状痕を伴う切削型とピットを生じる‘ぜい性破壊型’（粒子・粒子塊の脱落）である。絶えず新しいピットが生じることは、光沢面下にガラス状の層が無いことを示す。

5. 無機質の残滓が表面にこびりつくことは可能だが、光沢面に沈み込むことは不可能である。実際、そのような残滓は観察されなかった。シリカ・ゲル説は棄却されなければならない。

6. 使用痕光沢のタイプは研磨材として働く被加工物の硬さ、粘弾性的性質、表面状態によって主に決定されると考えられる。

謝 辞

筆者はまず東北大学金属材料研究所の志村宗昭, 斎藤栄の両先生に深く感謝するものである。両先生は筆者の研究に理解を示され, SEM の使用を快諾下さり, 親身な御助言・御援助を賜った。坂上六郎, 福田正の両先生は蒸着装置の使用を快諾下され, 操作法を御指導頂いた。吉井勇氏には試料台を作製して頂き, また, 金属加工研究室の諸氏より暖かい励ましを頂いた。藤田淳氏とは研究の初期に共同で仕事を進めたことを特に記しておきたい。梶原洋, 阿子島香の両氏からも多大な御援助を頂き, 蟹沢聡史先生, 林信太郎氏は岩石について, 鹿島一日児氏は銀蒸着について, 青砥健先生は試薬の扱いについて御教示下さった。堀切川一男先生にはトライボロジについて御教示頂き, 草稿にコメントを頂いた。考古学研究室の諸氏にも, 様々な面で御世話になった。アイヴァン・F. ドーナン先生は英文の添削をして下さった。須田裕美子さんはワープロで原稿をまとめて下さった。ここに記して感謝の意を表したい。

最後に筆者をこの研究に導いて下さった芹沢長介先生, 常に御指導を頂いている須藤隆先生に深甚の謝意を表するものである。

引 用 文 献

- 1) L. H. Keeley (1977) The functions of paleolithic flint tools, *Scientific American* 237-5: 108-126.
- 2) L. H. Keeley (1980) *Experimental Determination of Stone Tool Uses: A Microwear analysis*. Univ. of Chicago Press
- 3) 梶原洋・阿子島香 (1981) 頁岩製石器の実験使用痕研究——ポリッシュを中心とした機能推定の試み—— (東北大学使用痕研究チームによる研究報告 その2), 考古学雑誌 67: 1-36.
- 4) 芹沢長介・梶原洋・阿子島香 (1981) 実験使用痕研究とその可能性 (東北大学使用痕研究チームによる研究報告 その4), 考古学と自然科学 14: 67-87.
- 5) R. Grace, I. D. G. Graham and M. H. Newcomer (1985) The quantification of microwear polishes, *World Archaeology* 17: 112-120.
- 6) 日本潤滑学会編 (1970) 潤滑用語解説集, 朝倉書店, 東京: 148.
- 7) 日本潤滑学会編 (1970) 潤滑ハンドブック, 養賢堂, 東京: 72.
- 8) 近藤鍊三・佐瀬隆 (1986) 植物珪酸体, その特性と応用, 第四紀研究 25-1: 31-64.
- 9) G. Diamond (1979) The nature of so-called polished surfaces on stone artifacts. 引| 用文献 12) に所収. 159-166.
- 10) S. A. Semenov (1957) *Pervobytnaya Tekhnika*. (*Prehistoric Technology*. translated by M. W. Thompson, Cory, Adams & Mackay, London).
- 11) J. Witthoft (1967) Glazed polish on flint tools, *American Antiquity* 32: 383-388.

- 12) B. Hayden ed. (1979) *Lithic Use-Wear Analysis*. Academic Press, New York.
- 13) J. Kamminga (1979) The nature of use-polish and abrasive smoothing on stone tools.
引用文献 12) に所収 : 143-157.
- 14) E. Rabinowicz (1965) *Friction and Wear of Materials*. Wiley, New York.
- 15) T. A. Del Bene (1979) Once upon a striation : current models of striation and polish formation. 引用文献 12) に所収 : 167-177.
- 16) P. Anderson (1980) A testimony of prehistoric tasks: diagnostic residues on stone tool working edges, *World Archaeology* 12-2 : 181-194.
- 17) M. H. Newcomer (1979) Discussion: smoothing, polish, and striations. 引用文献 12) に所収 : 190.
- 18) M. E. Mansur-Franchomme (1983) Scanning electron microscopy of dry hide working tools: The role of abrasives and humidity in microwear polish formation, *Journal of Archaeological Science* 10 : 223-230.
- 19) M. E. Mansur-Franchomme (1984) *Préhistoire de Patagonie. L'industrie 'Nivel 11' de la Province de Santa Cruz (Argentine): Technologie Lithique et Traces d'Utilisation*. BAR International Series 216 : 129-131.
- 20) N. Meeks, G. Sieveking, M. Tite and J. Cook (1982) Gloss and use-wear traces on flint sickles and similar phenomena, *Journal of Archaeological Science* 9 : 317-40.
- 21) A. Masson, E. Coqueugniot and S. Roy (1981) Silice et traces d'usage: Le lustre des faucilles. *Nouvelles Archéologiques du Musée d'Histoire Naturelle de Lyon* 19 : 43-51.
- 22) R. Unger-Hamilton (1984) The formation of use-wear polish on flint: Beyond the 'deposit versus abrasion' controversy, *Journal of Archaeological Science* 11 : 91-98.
- 23) 阿子島香・梶原洋 (1984) 石器の使用痕分析と客観化. 考古学ジャーナル 227 : 12-17.
- 24) M. E. Mansur (1982) Microwear analysis of natural and use striations: new clues to the mechanisms of striation formation, *Studia Praehistorica Belgica* 2 : 213-233.
- 25) 引用文献 2) : 49-50.
- 26) M. E. Mansur-Franchomme (1983) *Traces d'utilisation et technologie lithique. Exemples de la Patagonie*. Thèse du 3ème cycle no. 1860. Institut de Quaternaire, Université du Bordeaux I, Talence : 81.
- 27) 引用文献 19) : 137.
- 28) S. Yamada and M. Shimura, (1984) Use-wear analysis of stone tools with scanning electron microscope. in A. D. Roming Jr. and J. I. Goldstein, eds., *Microbeam Analysis-1984*, San Francisco Press, San Francisco : 223-226.

- 29) P. C. Vaughan (1985) *Use-Wear Analysis of Flaked stone tools*. The Univ. of Arizona Press, Tucson : 42.
- 30) P. Anderson-Gerfaud (1983) A consideration of the uses of certain backed and<lusted> stone tools from Late Mesolithic and Natufian levels of Abu Hureyra and Mureybet (Syria). in M.-C. Cauvin, ed., *Traces d'utilisation sur les outils neolithiques du Proche Orient*, Maison de l'Orient, Lyon : 77-105, Pl. II-2a.
- 31) 泉谷徹郎 (1984) 光学ガラス. 共立出版 東京 : 114-131.
- 32) 引用文献2) : 49-50.
- 33) 笹田直, 尾池守 (1981) アプレッシブ摩耗に対する潤滑効果, 潤滑**27-9** : 703-708.
- 34) 青山和夫 (1985) 石包丁の実験使用痕研究. 東北大学卒業論文.
- 35) 梶原洋 (1982) 石器の使用痕分析. 芹沢長介編 モサナル. 東北大学文学部考古学研究室考古学資料集第4冊所収 : 11-15.
- 36) 佐藤陽一 (1986) 黒曜石製石器の使用痕分析に関する基礎的研究, 東北大学卒業論文.
- 37) 御堂島正 (1986) 黒曜石製石器の使用痕—ポリッシュに関する実験的研究—. 神奈川考古 **22** : 51-86.
- 38) 引用文献29) : 29, 42-43.
- 39) 引用文献 20) : 337.

なお本稿脱稿後に次の論文が出版された。

P. Anderson-Gerfaud (1986) A few comments concerning residue analysis of stone plant-processing tools. in L. R. Owen and G. Unrath, eds., *Technical Aspects of Micro-wear Studies on Stone Tools*, *Early Man News* 9/10/11, Tübingen: 69-81.

F. d'Errico et J. Espinet Moucadel (1986) L'emploi du microscope électronique à balayage pour l'étude expérimental de traces d'usure: raclage sur bois de cervidé, *B.S.P.F.* **83-3** : 91-96.

前者については,

山田しょう (1986) 使用痕研究の現状と針路. 東北史学会編 歴史**67** : 72—95
の中でコメントした。

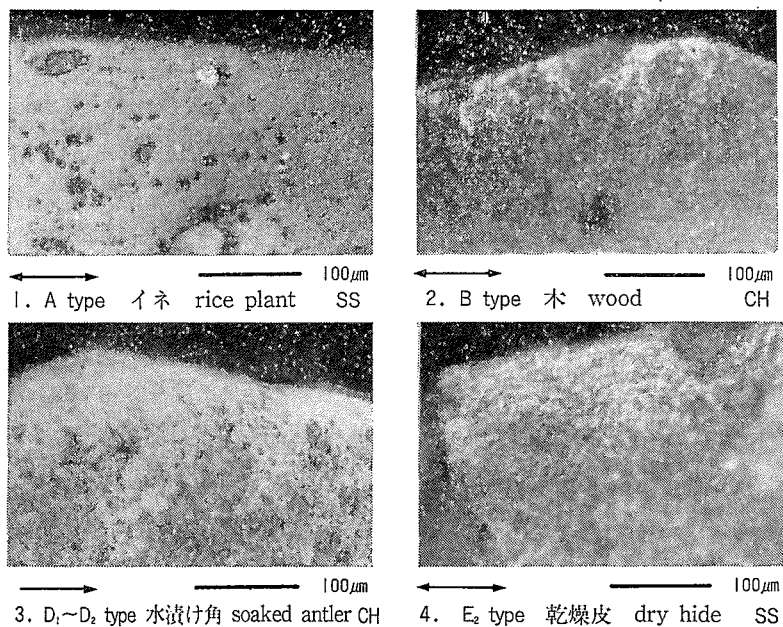


図2 代表的な光沢タイプ (OLM)

Fig. 2. Representative polish types (OLM)

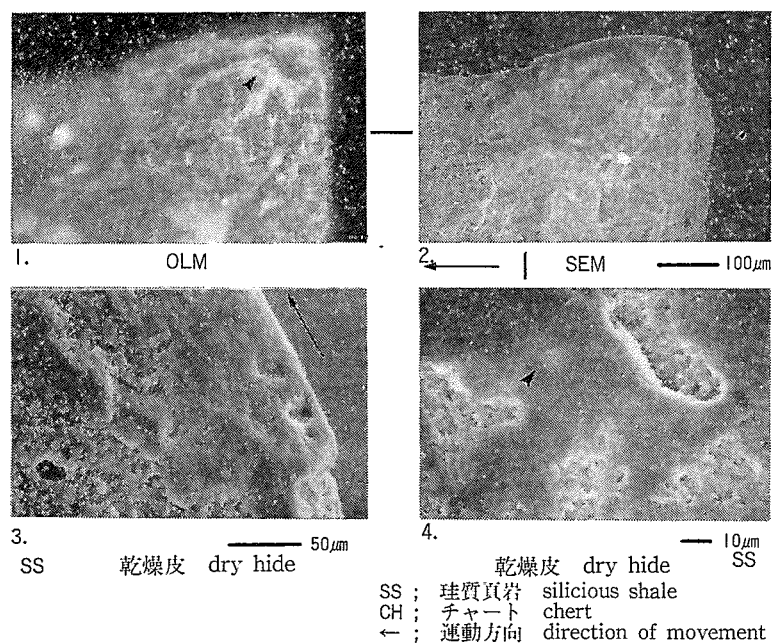


図3 OLM と SEM の画像の比較

Fig. 3. Comparison of OLM and SEM images

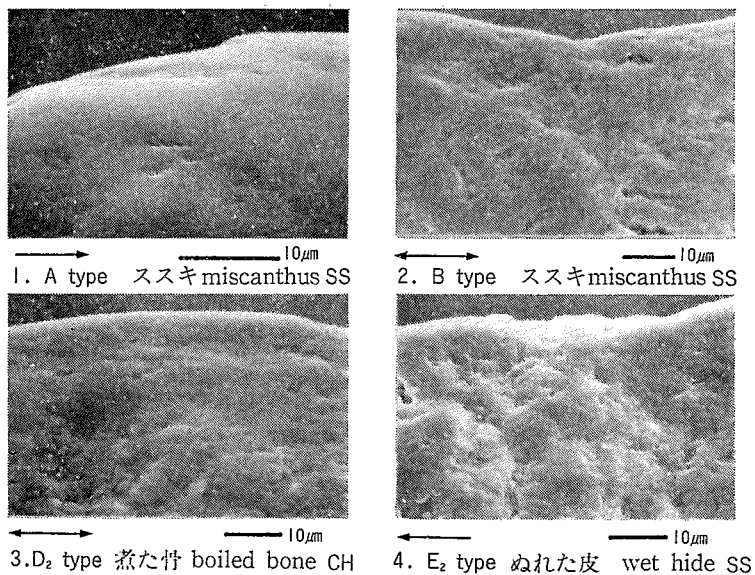


図4 代表的な光沢タイプ (SEM)

Fig. 4. Representative polish types (SEM)

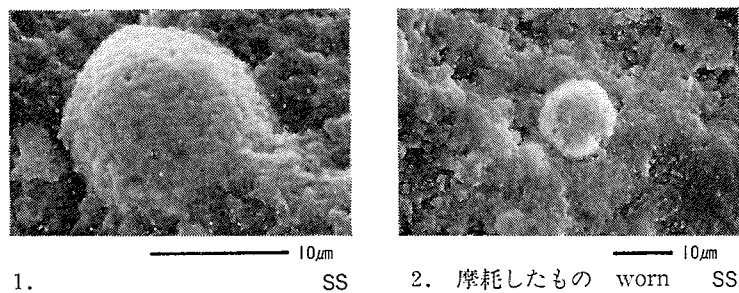


図5 化石 ?

Fig. 5. Fossil?

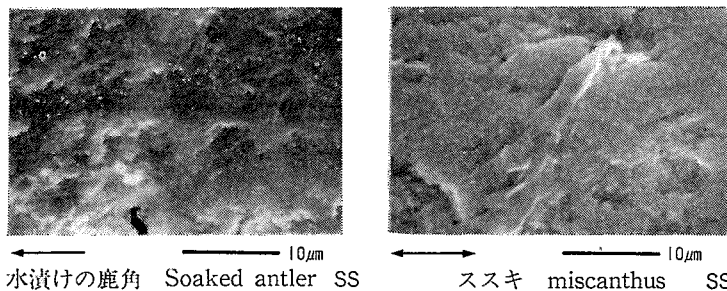


図6 線状痕

Fig. 6. Striations

図7 有機質と思われる残滓

Fig. 7. Residue
(probably organism)

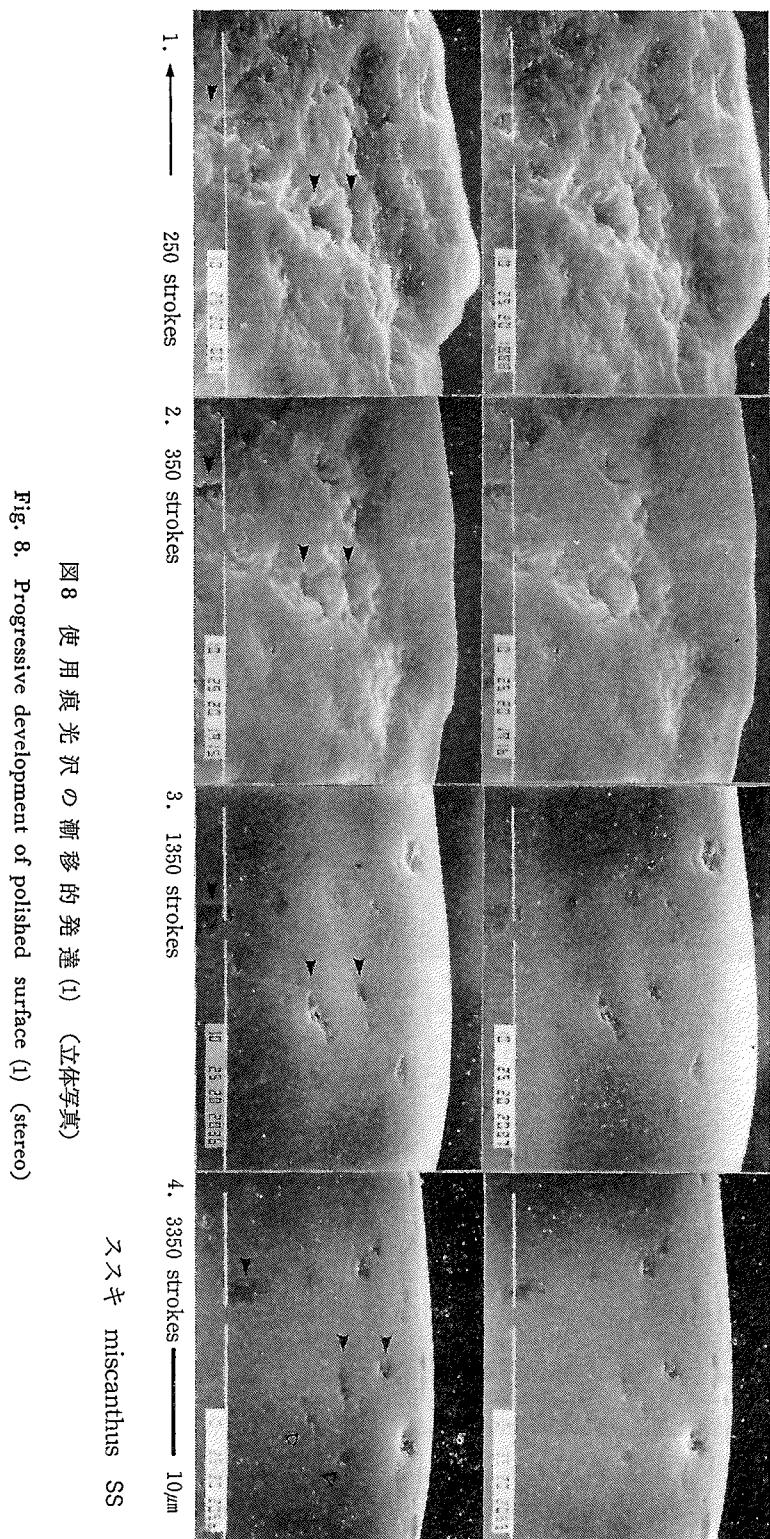


図8 使用痕光沢の漸移的発達 (1) (立体写真)

Fig. 8. Progressive development of polished surface (1) (stereo)

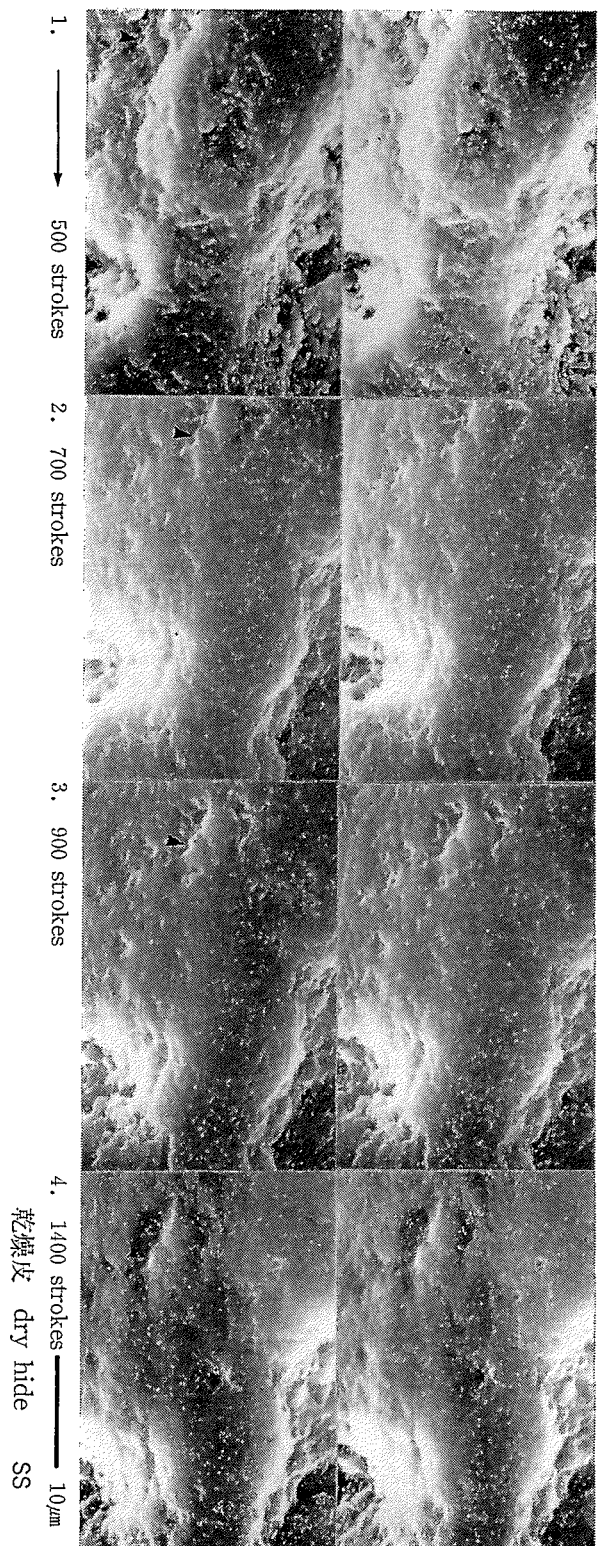
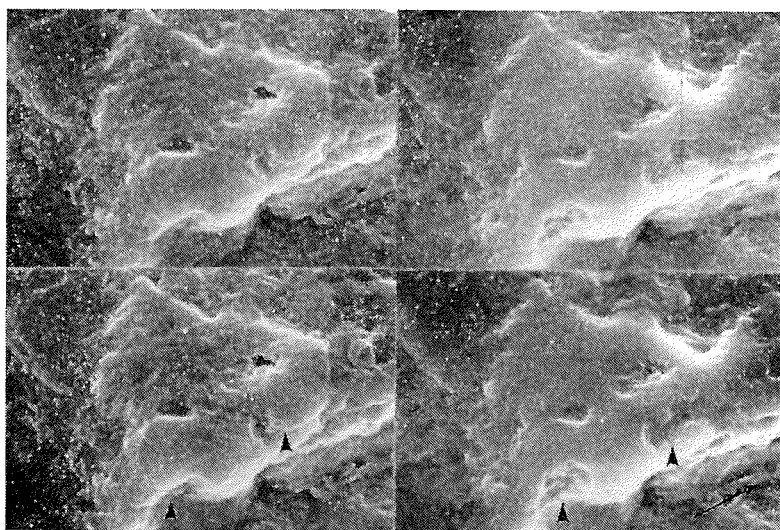


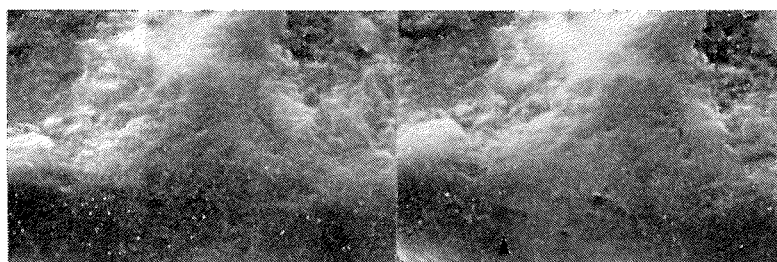
図9 使用痕光沢の漸移的發展(2) (立体写真)
Fig. 9. Progressive development of polished surface (2) (stereo)



1. ススキ miscanthus 30 strokes 2. 80 strokes ——— 10 μ m SS

図10 破壊型の表面損傷の形成 (立体写真)

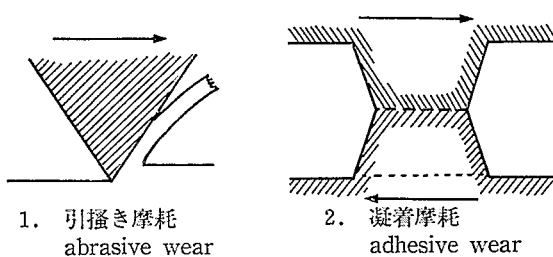
Fig. 10. Occurrence of fracture type surface damage (stereo)



——— 乾燥皮 dry hide 650 strokes 1150 strokes ——— 10 μ m SS

図11 粗い線状痕の出現

Fig. 11. Emergence of rough striations



1. 引掻き摩耗
abrasive wear

2. 凝着摩耗
adhesive wear

図12 摩耗のモデル

Fig. 12. Models of Wear

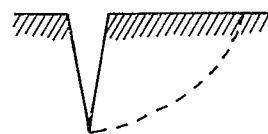


図13 破壊型の表面損傷

Fig. 13. Fracture type
surface damage

The Formation Process of Use-Wear Polishes

Shoh YAMADA

Department of Archaeology, Tohoku University, Kawauchi, Sendai 980, Japan

Detailed features and the formation process of use-wear polishes on silicious shale became evident in these extensive SEM studies. Diagnostic features of optical polish types were also recognized with SEM ; bone and antler polishes tend to be flat, while plant polish is domed. However, the identification of polish types is more difficult than with OLM because of the nature of the image. The apparent appearance of a polish on the surface is an illusion caused by the microtopography and domed polished surface.

It was confirmed with SEM that silver coating film was removable by H_2O_2 treatment followed by acetone wiping, which caused almost no damage to the surface. This technique will be widely applied in use-wear studies.

The progressive development of the polishes were observed with the use of silver coating and stereo-photography. All these developing processes proved to be "abrasive wear" as defined in tribology. Neither deposition of silica gel layer nor fluidity of the surface was observed.

Two types of surface damage were observed: cutting type accompanied with striations and fracture type (pitting). These seem similar to the abrasive wear of ceramics. Constant emergence of the pits shows that there is no vitreous layer under the polished surface.

It was possible that residues adhere to the surface, but impossible that they are embedded into the surface. Therefore the silica gel hypothesis must be abandoned. Hydration in the order of less than μm may be occurring on the surface.

The humidity effect on polish development may be due to the change of the viscous and elastic properties of the worked materials, the lubricant effects in abrasive wear or the acceleration of hydration, or a combination of these three causes.

It is considered that the diagnostic features of polish types are mainly produced by the hardness, the viscous and elastic properties, and the surface texture of the worked materials.

