

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——

松沢亜生*

はじめに

石器製作実験は、個人的な実験を越えて、物理的な実験によりモデル化の方向に向うものと思われる。

たとえ個人的経験的な製作実験であっても、それ自体石器研究に貴重な資料を提供し、石器の観察の中心的な視点となって来たのはよく学史の示すところであり、その業績を否定するものではない。

同じような石器製作の状況でも、実験者によって処理の仕方に個人差をみる。別な処理経過でも同じような石器をつくれるのも事実である。例えば石刃の製作には何通りかの処理法が紹介されているのをみても知れるところである。

そこで遺物の理解にあたって、製作実験とともに物理実験による個人差を越えた視点がまた要求されていると考える。このような製作に関連した物理実験の一部をここに紹介するとともに、今後とも発展させていきたい。

ここに述べる基礎データは、科学研究費補助金、特定研究「自然科学の手法による遺跡・古文化財等の研究」のD-4「石器製作に関する科学的分析法の開発」¹⁾として行った実験をまとめたものである。

I 材質について

- 1) 材質の硬さ
- 2) 材質の部位による硬さの差について

II 割れ円錐の形成

- 1) 割れ円錐
- 2) 割れ円錐の変形(1)
- 3) 割れ円錐の変形(2)

ただ同時に検討した次のIIIについては今後の機会にまとめたいと考えている。

* 奈良国立文化財研究所 埋蔵文化財センター 奈良市佐紀町

Ⅲ 割れ斜面の形成

1) 打撃による剥離

2) 押圧による剥離

剥離面の計測を中心とした問題だが、剥離面間の切り合いの基礎として重要な課題であると考えている。

I 材質について

1) 材質の硬さ

打製石器に使用される石材はある程度の硬さをもっていて、割れ面が貝殻状に発達しやすい性質をもつ岩石であることはよく知られているところである。例えば後述のような黒曜石、サヌカイト、頁岩、チャートなどはその代表的な石材といえる。いずれも弾性体であり、ある程度の硬さとともに脆さをもち、均質な素材であるといわれている。

打ち割る石器の製作に、石材の硬さが大きく影響していることはまぎれもない事実である。製作実験を通じての経験からすれば、黒曜石は割れ易く、サヌカイト、チャートは割れにくく硬い。私個人の受けとり方ではあるが、それを作業のしやすさから判断すれば、割れ易い黒曜石は力に抑制を受けるだけ割れにくい材質であるといえるし、サヌカイト、チャートは硬いだけに少々無理がきくという意味で扱い易い材質といえる。その感じは石割りに慣れるにしたがって変って来ている。こうした石割りの個人的な感じ方についての批判とともに、ヨーロッパで多用されるフリント材の実験研究と比較検討できる何らかの物差しが欲しいところである。

岩石の硬さの測定は、それ自体微妙なものであるといわれる。岩石を構成している鉱物の配列など構造上の問題から来るものである。したがって後述のような測定が、それらの岩石のほんとうの硬さを代表してくれているかどうかを、さらに検討することが必要であるが、とりあえずここではやゝ粗いが大まかにとらえた硬さをもとに石材相互の比較に用いた。

材質として次の4種をとりあげた。

黒曜石：北海道紋別郡白滝産

サヌカイト：大阪府太子町春日産

チャート：栃木県栃木市星野産，星野遺跡の裏山にある露頭から採集

頁岩：山形県飯豊町上屋地産

さらに石割り実験の材料として理想的といわれるガラス材を用意した。ガラス塊はカメラのレンズ用ガラス**である。

**ガラス材についてはミノルタ伊丹工場総務課長升井順三氏に便宜を計っていただいた。同時に透しの観察のために必要なバーナーによる温度差割りも手解きを受けた。合わせて御礼申し上げる。

岩石の硬さの測定にはいくつかの方法がある。もっとも簡便なモース硬度にしたがえば、硬度5—8の範囲内である。頁岩やチャートは硬度7の石英と同じ程度であり、サヌカイトが6—7の中間に、黒曜石は6の長石より軟かく、5の燐灰石よりも硬いし、ガラスは黒曜石よりやゝ軟かいといえる。

ここでは試験体に衝撃荷重を加えて、材質の衝撃に対する抵抗力を測定するアイゾット衝撃試験（衝撃曲げ試験）を行ない、材質の粘り強さを示してみた。

上記の材質を整形、長さ 635 ± 0.6 mm、厚さ 12.7 ± 0.05 mm、任意な巾を10 mmとした試験体を用意し、一端を固定、振り形式で振り降されるハンマーの一撃で破断して、ハンマーの振り角度から破断に要したエネルギーを測定、試験片の巾で除して衝撃値を求める。単位は kgfcm/cm である。

サヌカイト材では割り実験の経験から、割れ易い方向性をもっていることが知られている。硬さとの関係を明らかにするため、この方向性を考慮して試験体を準備した。1つは試験体の長さの方向にとりこみ、衝撃を方向性に直交させ、他は厚味ないし巾方向にとりこんで、衝撃に対して平行させるように配慮した。したがって、直交させたサヌカイトは割りにくい状況を、平行させたサヌカイトは割れ易い方向性をもたせたことになる。

以上のサヌカイトの2種、ガラスを含めて6種類の材質の測定を試み、結果を第1表に示した。

衝撃値をみるとあるバラツキを示している。その度合は材質によって異なる。黒曜石は最小値：2.07、最大値：3.32、範囲が1.25で、割りにまとまった数値を示している。チャートは最小値：2.44、最大値：5.6、範囲が3.16で、黒曜石の2倍以上の巾を示す。サヌカイト（平行）の最小値：2.36、に対して同（直交）は2.44と似た数値だが、（平行）の最大値：7.91は（直交）の6.13よりやゝ大きく、範囲は（直交）が3.89とチャートに似たまとまりを示すのに対して、（平行）は5.55とバラツキが大きくなる。また頁岩では最小値：5.9、最大値：10.128、範囲：4.228で、サヌカイト（平行）より小さな巾である。

ところが実験材料として理想的であるとみられているガラスは、最小値：1.87、最大値：10.35、範囲：8.48を示し、素材の中で最も大きなバラツキとなっている。ガラス材は均質であると考えられているだけに意外な結果である。

もし材質が均質であるならば、同じ衝撃値を期待できると考えてよいだろうか。ここでは一応衝撃値がバラツキをみせるということが、素材の硬さが一様でないことを意味していると考え、数値巾は岩石の均質性を反映しているものと受けとめておきたい。

同じ材質における衝撃値のバラツキがおおよそ正規分布を示すものと仮定して、このような試験体の集合としての素材の母集団の硬さを推定してみた。統計的な処理はSony Tektronixで行い、各々のサンプルの数値を第1、2表に示した。なおグラフゼネレーター4051型でヒストグラムと正規

第1表 石材のアイゾット衝撃試験値

Values from the Izod Impact Test for various materials and the t-test of these values.

	OBSIDIAN	CHERT	SANUKITE (P)	SANUKITE (U)	SHALE	GLASS
DATA =	2.26 2.35 2.07 2.26 3.32	5.60 3.19 3.74 2.44 4.69	2.36 3.06 5.46 5.32 7.91	4.29 2.24 5.57 6.13 5.91	6.29 6.51 10.128 5.90 6.91	10.35 2.23 6.57 1.87 2.40
DESCRIPTIVE STATISTICS						
	OBSIDIAN	CHERT	SANUKITE (P)	SANUKITE (U)	SHALE	GLASS
N =	5	5	5	5	5	5
MEAN =	2.452	3.932	4.822	4.828	7.1476	4.684
VARIANCE =	0.24587	1.54257	4.83922	2.60092	2.9094388	13.70448
STD DEV =	0.495852800730	1.24200241546	2.19982272013	1.61273680432	1.70570771236	3.701955623961
DATA MIN =	2.07	2.44	2.36	2.24	5.9	1.87
DATA MAX =	3.32	5.6	7.91	6.13	10.128	10.35
DATA RANGE =	1.25	3.16	5.55	3.89	4.228	8.48
STANDARD ERR OF MEAN =	0.221752113857	0.555440365936	0.983790628132	0.721237824854	0.762815678916	1.65555651603
COEFFICIENT OF VARIATION =	20.22233817593	31.5870400676	45.6205458343	33.4038277613	23.8640622357	79.034078557
SKENNESS =	1.33663339423	0.195403894631	0.247751447772	-0.906712530802	1.33084139938	0.769278578644
KURTOSIS =	3.05907544815	1.7507105462	1.83535671394	2.28624161957	3.02055716089	1.94587750052

第2表 石材のアイゾット衝撃試験値

T-test of the values from the Izod Impact Test for various materials and comparison of paired means.

OBSIDIAN	SAMPLE MEAN =2.452	OBSIDIAN - CHERT	0.89422
CONFIDENCE INTERVALS FOR POPULATION MEAN :		POOLED VARIANCE =	
LEVEL	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT	
90%	(1.97916485785 ; 2.92483514215)	T TEST OF EQUALITY OF MEANS =	-2.47462576431
95%	(1.83629076028 ; 3.06770923972)	WITH 8 DEGREES OF FREEDOM	
99%	(1.43293153067 ; 3.47106846933)	OBSIDIAN - SANUKITE (V)	
		POOLED VARIANCE =	1.423395
CHERT	SAMPLE MEAN =3.932	T TEST OF EQUALITY OF MEANS =	-3.14886268688
90%	(2.74765176643 ; 5.11634823357)	WITH 8 DEGREES OF FREEDOM	
95%	(2.38978351597 ; 5.47421648403)	OBSIDIAN - SHALE	
99%	(1.37945719186 ; 6.48454280814)	POOLED VARIANCE =	1.5776544
		T TEST OF EQUALITY OF MEANS =	-5.91092109224
SANUKITE (P)	SAMPLE MEAN =4.822	CHERT - SANUKITE (V)	
90%	(2.72429381172 ; 6.91970610828)	POOLED VARIANCE =	2.071745
95%	(2.0904410121 ; 7.5535589879)	T TEST OF EQUALITY OF MEANS =	-0.984260064426
99%	(0.300960754367 ; 9.3433024563)	CHERT - SHALE	
		POOLED VARIANCE =	2.260044
SANUKITE (V)	SAMPLE MEAN =4.828	T TEST OF EQUALITY OF MEANS =	-3.40776011147
90%	(3.29012699618 ; 6.36587300382)	WITH 8 DEGREES OF FREEDOM	
95%	(2.82543603307 ; 6.83056396693)	CHERT - SHALE	
99%	(1.51353001182 ; 8.14246998818)	POOLED VARIANCE =	2.7551794
		T TEST OF EQUALITY OF MEANS =	-2.20957202677
SHALE	SAMPLE MEAN =7.1476	SANUKITE (V) - SHALE	
90%	(5.52107182986 ; 8.77412817014)	POOLED VARIANCE =	
95%	(5.02959240339 ; 9.26560759661)	T TEST OF EQUALITY OF MEANS =	
99%	(3.64205774035 ; 10.6531422597)	WITH 8 DEGREES OF FREEDOM	
		SANUKITE (P) - SANUKITE (V)	
GLASS	SAMPLE MEAN =4.684	POOLED VARIANCE =	3.72007
90%	(1.15388984998 ; 8.21411015002)	T TEST OF EQUALITY OF MEANS =	-0.004918647491
95%	(0.087215110652 ; 9.28078488935)	WITH 8 DEGREES OF FREEDOM	
99%	(-2.92419919339 ; 12.2921991934)		

分布曲線を描かせたが、ここでは省略する。

衝撃値の平均値は小さい方から順に、黒曜石：2.452，チャート：3.932，サヌカイト（平行）：4.822，同（直交）：4.828，頁岩：7.1476の順序である。黒曜石を基準にすれば、サヌカイトは約2倍の強度を持っているし、チャートは1.6倍、頁岩が2.9倍という硬さである。したがって前述したモース硬度と大きく違うのはチャートの順位である。

また実験での感じからすれば、頁岩とサヌカイトは逆の関係にあるように思っていたし、割れ易さの方向性がはっきりとしているサヌカイトはその明らかな印象を裏づけるほどに衝撃値に明瞭な差をもたない結果に終わっている。

標準偏差および分散からみても、黒曜石：0.49，0.24と小さく、よくまとまった数値を示し、チャート：1.24は黒曜石の約2.5倍の中をもつ。サヌカイト（直交）：1.61，2.60に対して、同（平行）：2.19，4.83の差は大きく、（直交）のまとまりにくらべ（平行）はバラツキが大きいことを示している。平均値ではほとんど変らなかったサヌカイトの割れ易さの性格をある程度反映しているとみてよいだろう。頁岩：1.70，2.90で、サヌカイト（直交）と似た数値を示す。ガラスは3.70，13.70と大きな数値を示し、分散度はサヌカイト（平行）の場合の4.83のおよそ3倍にも近い。

このようなアイゾット衝撃試験による材質のねばり強さを衝撃強度の平均値で理解するにあたって、その平均値間の相互関係を統計的にみておこう。1) 黒曜石とチャート，2) 黒曜石とサヌカイト（直交），3) 黒曜石と頁岩，4) チャートとサヌカイト（直交），5) チャートと頁岩，6) サヌカイト（直交）と頁岩，7) サヌカイト（平行）と同（直交）の7項目について、平均差の有意性検定を行ってみた。

それぞれの項目の二種類の岩石の母集団の平均がもし等しいという仮説をたてたとき、この仮説を否定する危険の度合を確かめた。

1) $t = -2.474$ ，2) $t = -3.148$ ，3) $t = -5.910$ ，4) $t = -0.984$ ，5) $t = -3.407$ ，6) $t = -2.209$ ，7) $t = -0.004$ ，

t 分布表から自由度8に対する α を1%にとると3.355であり、5%にとると2.306，10%にとると1.860である。

3)の黒曜石と頁岩の場合、平均差が大きいだけに、1%をはるかに越え0.1%以下のまったく危険度なしに有意であると判定できる。1)の黒曜石とチャートまた2)の黒曜石とサヌカイト（直交）、および5)のチャートと頁岩の関係では、危険の度合が5%であり、6)のサヌカイト（直交）と頁岩の関係は、危険度を10%に考えれば、仮説を捨てて有意の差があると一応いえよう。

ところが、4)のチャートとサヌカイトおよび7)の割れ易さの方向性を考慮したサヌカイトの直交と平行との間の関係については有意の差を認めることができない。たゞ予備実験の段階で、サヌカイトの平行と直交の衝撃値が約倍に近い差をもっている結果を得ているので、その原因についても

今後の問題としたい。

2) 材質の部位による硬さの差について

用意した石材の、どこに、どれだけの力をどんな風に加えたら要求に合った剥離状況を引き起こせることができるかを、状況に応じてあらかじめ推測できるとしたら、無駄のない割り処理をすすめられることになる。

もちろん石器時代人は石器製作の体験を通じて、合目的な割り処理方法を編みだして来たのだろう。その状況を正しく評価し、理解するために、石器研究者にとってより近似な体験が要求される。

ここでは当面の課題として、材質のどこに力を加えたら剥離を引き起こすかを整理することになり、それは逆に材質の部位の状況による硬さの違いとして理解されるものとする。

まず打撃を加える場所として、三つの状況を想定した。一つは試験体の中央部に、他の二つは縁辺部である。縁辺部の状況を整理すれば、代表的な二つの状況にわけられる。すなわち長辺の中央部分に加える場合の平部と、他は二辺の合する角部である。この縁部の二者の関係は、角部を構成する主として二側面が広角をなし、直線状に並び、一平面をとる時に平部を構成する。場合によってはさらに角度が開いて凹部を形成することもある。しかしここでは凹部についてとりあげない。

剥離作業の中で、材質の中央部分に加撃することはまれである。これは縁辺部に加える打撃との比較の意味をもたせて扱ったものである。また現に硬さの測定機具類は、試験にあたって中央部分を用い、極端に縁部に寄って測定することはない。しかし、石器製作の状況の中ではむしろ縁部に加撃するのが一般であり、剥離作業の理解のためにもこの種のデータが不足しているといえる。

塊状の材質として、黒曜石、サヌカイトを使用し、合わせてガラス塊でも実験してみた。前二者の産地は前述のとおりである。

人頭大の塊についての上述三ヶ所の衝撃強度試験を、コンクリート・テストハンマーを用いて測定してみたが、成功していない。

試験体は6×6×7 cmの直方体状に整形した、黒曜石、サヌカイト及び比較資料としてのガラス体である。

試験体上の硬さ測定位置は上面にすえた6×6 cmの面の中央部と、平部、角部では、縁端および角端から各々試験体中心に向う線上の、端から5 mm、10 mm内側に入った位置を選び、計5ヶ所を5回、3個体の試験体で測定した75個のデータを基本としている。もちろん上面と側面の関係は直交している。その結果を第3、4表に示した。

ショア硬度測定機は、36 gのダイヤモンドハンマーを19 mmの高さから自由落下させ、試験体面に当たって反跳するハンマーの高さを読みとって、ショア硬度を測定する装置である。測定によって圧痕がつき、同一個所の二度打ちを避けるために圧痕径の2倍以上を離すことになる。したがって5回の試験では上記の指定位置の周辺部を測定していることになる。

第3表 黒曜石 (Ob) シヨ了硬さ試験値

Values for the Shore Hardness of different obsidians, the t-test of these values, and the comparison of paired means.

DATA =	Ob C	Ob P <10mm>	Ob P <5mm>	Ob A <10mm>	Ob A <5mm>
	103.6	92.1	81.5	74.5	66.3
	97.0	90.1	85.3	72.4	65.9
	98.4	86.3	83.4	67.1	67.3
	102.0	87.0	81.1	74.8	69.5
	98.8	89.4	85.2	70.6	68.8
	102.8	88.2	85.7	72.1	67.4
	98.8	81.0	83.1	74.6	66.5
	104.0	86.8	83.2	71.2	68.1
	96.2	86.2	84.8	70.1	66.7
	97.9	91.9	82.7	71.9	65.0
	98.8				63.6
DESCRIPTIVE STATISTICS					
N =	15	15	15	15	15
MEAN =	99.82	88.66	83.8533333333	72.44	66.6933333333
VARIANCE =	6.43028571443	3.99542857161	3.32123809551	4.7240000013	2.25066666668
STD DEV =	2.53580000338	1.99885681619	1.82242643075	2.17347647793	1.50022228577
DATA MIN =	96.2	86.2	81	67.1	63.6
DATA MAX =	104	92.1	96.9	74.8	69.5
DATA RANGE =	7.8	5.9	5.9	7.7	5.9
STANDARD ERR OF MEAN =	0.654740952053	0.516102610703	0.470548481065	0.561189213494	0.387355707903
COEFFICIENT OF VARIATION =	2.54037347564	2.25451930542	2.17335001282	3.00030166473	2.24943333524
SKEWNESS =	0.482199018778	0.4380916743	-0.116825136269	-0.845528315822	-0.0797669889005
KURTOSIS =	1.81202558162	1.8819549414	128960.22414	3.38954605949	1775077.28338
POOLED VARIANCE =		Ob P <10mm> - Ob P <5mm>		Ob A <10mm> - Ob A <5mm>	
		3.658333333356		3.48733333334	
T TEST OF EQUALITY OF MEANS =		6.8822905016		8.42752225337	
WITH 28 DEGREES OF FREEDOM					

第4表 サスカイト (Sa) ショア硬度試験値

Values for the Shore Hardness of different sanukite samples the t-test of these values, and the comparison of paired means.

	Sa C	Sa P <10mm>	Sa P <5mm>	Sa A <10mm>	Sa A <5mm>
DATA =	100.0	91.1	81.8	73.6	61.8
	97.0	93.2	82.1	77.5	64.2
	100.0	87.0	82.9	77.2	67.1
	100.0	91.9	85.3	72.3	68.3
	102.5	101.0	84.9	76.7	70.7
	103.8	98.0	80.1	67.1	69.3
	105.2	90.2	81.6	78.9	68.1
	104.8	92.8	81.4	72.2	61.0
			94.2	77.9	63.1
DESCRIPTIVE STATISTICS					
N =	15		15	15	15
MEAN =	102.006666667		82.686666667	74.446666667	66.586666667
VARIANCE =	4.5892380953		5.1069238109	16.9340952382	8.97266666674
STD DEV =	2.14225070785		2.25985671694	4.1151057384	2.99544098035
DATA MIN =	97		77.3	67.1	61
DATA MAX =	105.2		85.3	79	70.7
DATA RANGE =	8.2		8	11.9	9.7
STANDARD ERR OF MEAN =	0.553126754328		0.583492495301	1.06251573285	0.773419535429
COEFFICIENT OF VARIATION =	2.10010853002		2.73303642237	5.5275989743	4.49855974221
SKENNESS =	-0.642771114092		-0.745379626779	-0.454545780989	-0.48936262426
KURTOSIS =	3.12522135874		752812.453055	1.68540627343	161931.470576
POOLED VARIANCE =		Sa P <10mm> - Sa P <5mm>		Sa A <10mm> - Sa A <5mm>	
T TEST OF EQUALITY OF MEANS =		7.64276190493		12.9533809525	
WITH 28 DEGREES OF FREEDOM		6.55127574947		5.98083207328	

データの処理は I-1) に示したとおりである。ヒストグラム及び正規分布曲線については 1) 同様に省略した。

黒曜石でみると (第 3 表参照), 中央部では最小値: 96.2, 最大値: 104.0, 範囲: 7.8, 平均: 99.82, 標準偏差: 2.535, 分散: 6.430 である。

これに対して平部の 10mm は最大値: 92.1, 最小値: 86.2, 範囲: 5.9, 平均値: 88.66, 中央より 11.16 だけ小さくなっている。標準偏差: 1.998, 分散: 3.995 と中央部にくらべ, まとまりをもっている。

また平部 5mm の位置では最大値: 86.9, 最小値: 81, 範囲: 5.9。平均値: 83.85, 中央平均値との差は 15.97 である。標準偏差: 1.822, 分散: 3.321 と平部 10mm と同様な数値を示している。

平 5, 平 10, 中央は縁からの距離が 5mm, 10mm, 30mm の位置関係にあり, もし中央を 100 としたら距離比は平 5: 16.6, 平 10: 33.3 である。各々の強度が平 5: 83.85, 平 10: 88.66, 中央: 1 に対して平 5: 0.840, 平 10: 0.888 である。強度の減少はあまり顕著ではなく, 平 5 の位置でも中央値の 8 割程度の強度を示している。距離比と硬度比の積は平 5: 0.139, 平 10: 0.295, 中央: 1 である。

一方角部における状況をみると, 角 5mm では最大値: 69.5, 最小値: 63.6, 範囲: 5.9。平均値は 66.693, 中央値との差は 39.13, 中央値の 1 に対して 0.668 の割合である。標準偏差: 1.500, 分散: 2.250 と小さい。

第 5 表 黒曜石 (Ob), サヌカイト (Sa), ガラス (Gl) ショア硬さ値, a: 縁からの距離 (mm), a/c: 平 (p) 10mm, 5mm, 角 (A) 10mm, 5mm 各点の中心 (C) 距離比, b: 各石材のショア硬さ, b/c: 各点の中心値に対する硬さ比, a/c × b/c: 距離比・硬さ比の積。

Results of the Shore Hardness test of obsidian (Ob), sanukite (Sa) and glass (Gl).

		C	P 10	P 5	C	A 10	A 5
a		30	10	5	42.4	10	5
a/c		1	0.333	0.166	1	0.235	0.117
b	Ob	99.82	88.66	83.85	99.82	72.44	66.69
	Sa	102.0	89.3	82.68	102.0	74.44	66.58
	Gl	91.2	81.98	75.87	91.2	64.55	59.81
b/c	Ob	1	0.888	0.840	1	0.725	0.668
	Sa	1	0.875	0.810	1	0.729	0.652
	Gl	1	0.898	0.831	1	0.707	0.655
a/c × b/c	Ob	1	0.295	0.139	1	0.170	0.078
	Sa	1	0.291	0.134	1	0.171	0.076
	Gl	1	0.299	0.137	1	0.166	0.076

また角部10mmでは、最大値：74.8，最小値：67.1，範囲：7.7，平均値：72.44である。中央値との差は27.38，標準偏差：2.173，分散：4.724である。

角部と中央との関係は、距離が角5：5mm，角10：10mm，中央：42.4mm，中央を1とした距離比は角5：0.117，角10：0.235である。各々の硬さ比は0.668，0.725，1であり，距離比と硬さ比の積は角5：0.078，角10：0.170，中央：1となる。

黒曜石でのショア硬さの各部位での硬さの平均値を理解するにあたって，各部位の相互間の平均差の有意検定を行った。中央値に対する平部，角部の数値差は明瞭で問題ないと思われる。したがって問題になりそうな平部での5mmと10mmの間の，また角部での5mmと10mmの間の平均差を扱った。ただし，平部，角部の5mmおよび10mmについては求めている。

平部10と5の間では $t=6.882$ を示し，自由度28に対する α を0.1%とすると， $t=3.674$ であり，0.1%以下の危険率で，また角部10と5の間では $t=8.427$ を示し，これまた0.1%以下の危険率で，ともに有意であると認められる。

さてこのように判定できる各部位の平均値についてみると，中央値を1としたとき，距離比と硬度比の積の示す値として平10：0.295，平5：0.139，角10：0.170，角5：0.078の数値を得た。これらの数値でみると，平部でも角部でも縁から内部に向うと急激に中央値に近づいていく。その変化は直線的でなくある曲線を描くものと思われる。たゞここではデータ取りした位置が平部，角部とも3点だけなので，十分な検討はできない。また角部は当然，平部より低い硬度を示す。これら相互の関係についてもさらに検討を要する。

またショア硬さで示される硬さでは中央値と縁部の差があまり顕著でないことを書いた。しかし，コンクリート・テストハンマーによる同試験体の中央値では反撓値が17.0で，圧縮強度は37kg/cm²である。縁部での反撓値は6.5～6.3を示す。同時に剥離を起してしまうため，正確な反撓値を示しているかどうかは問題がある。中央値の約1/3程度であるが，この試験機の測定の下限を割ってしまうため圧縮強度を求めることはできない。それにつけても印象的にはこの状況の方がより実際に近いと判断され，今後の問題点といえよう。

サヌカイトでみると（第4表参照），中央部は最大値：105.2，最小値：97，範囲：8.2，平均値：102.0，標準偏差：2.142を示す。

これに対し，平10では最大値：93.2，最小値：83.8，範囲：9.4，平均値：89.3，標準偏差：3.190，中央との平均値差は12.7で，中央値に対する割合は0.875である。

平5では最大値：85.3，最小値：77.3，範囲：8，平均値：82.686，標準偏差：2.259である。中央平均値との差および比は19.314および，0.810である。また平10との間の平均値差は5.45である。

角10では最大値：79，最小値：67.1，範囲：11.9と他の部位の数値よりバラツキ巾がやゝ大きい。

平均値：74.446，標準偏差：4.115である。中央平均値差および比は27.554，0.729である。

角5では最大値：70.7，最小値：61，範囲：9.7，平均値：66.586，標準偏差：2.995である。中央平均値との差，比は35.414，0.652であり，角10との差は7.860である。

平10と平5，および角10と角5の平均差の検定からはそれぞれ $t=6.551$ ， $t=5.980$ を得る。自由度28の α を0.1%にとると $t=3.674$ であり，したがって0.1%に満たない危険率で有意差を認めることができる。

これらの平均値間の中央値に対する距離比×硬さ比をみると，中央値：平10：平5：角10：角5は1：0.291：0.134：0.171：0.076である。ちなみに黒曜石での数値を示すと，1：0.295：0.139：0.17：0.078である。この二者の関係が，驚くほどよく似た比率を示しているといえる。たゞ中央での硬さの絶対値はサヌカイト：102，黒曜石：99.82である。この差は，たとえ判定基準に違いがあるとはいえ，(I-1)でみたアイゾット試験値とは趣を異にする。

なお，ここでは参考資料として詳述しないが，ガラスの各部位の比率もよく似た状況を示している。

II 割れ円錐の形成

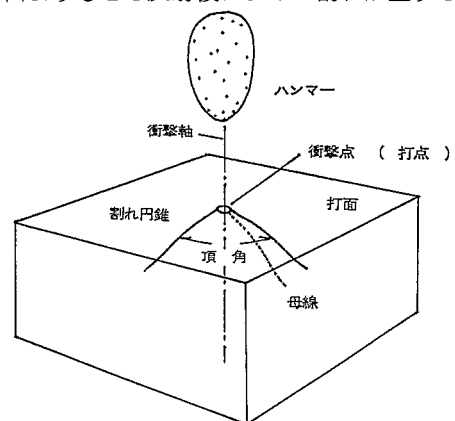
1) 割れ円錐（第1図参照）

弾性体が衝突して起る円錐形の割れについては19世紀の後半にはすでに知られていた。ドイツの物理学者の名を冠してヘルツの円錐と呼ばれている。

割れ目の研究では日本で第一人者であった平田森三によれば，物体に働く力によって生ずる割れはその境いに張力が働き，割れ目はこの張力の方向に直角に走るといふ²⁾。また，アメリカの Spath はこの割れの発生を，衝撃によって伝わる球形波と自由面よりもどる反射波によって割れが生ずると述べている³⁾。

我々の実験では，割れ円錐の発生機構の問題を扱うものではなく，衝突によって起きる割れ円錐の状況について観察するものである。

物体の中央部に加えられる力によって生ずる割れ円錐の頂角は，黒曜石で約120°，サヌカイトでは約122°である。ガラスは120°～140°の範囲にあってバラつく。ただ，いまのところ物体内に潜在的に残される割れ円錐の頂角の測定にはよい方法がみつからず，十分なデータを集めていない。



第1図 割れ円錐
Formation of a Hertzian Cone.

L. S. B. リーキーによる⁴⁾と抵抗の大きい岩石では割れ円錐の頂角が約40°を示すと書いている。我々の実験の場合I-1)に示したようにモース硬度では7を示す頁岩、チャートの類は、アイゾット衝撃値で黒曜石の約3倍、サヌカイトで約2倍の堅さをもつ結果を得ている。それにもかゝわらず、円錐頂角がさほど目立った減少を認めることはできなかった。たゞ別な機会に述べるように、割れ面をつくる斜面は、かならずしも円錐の斜面とその延長上ではなく、傾斜角を大きく変化させる。この変化は黒曜石にくらべサヌカイトは大きいといえる。リーキーの指摘はこの辺の事情を説明しているのかも知れない。

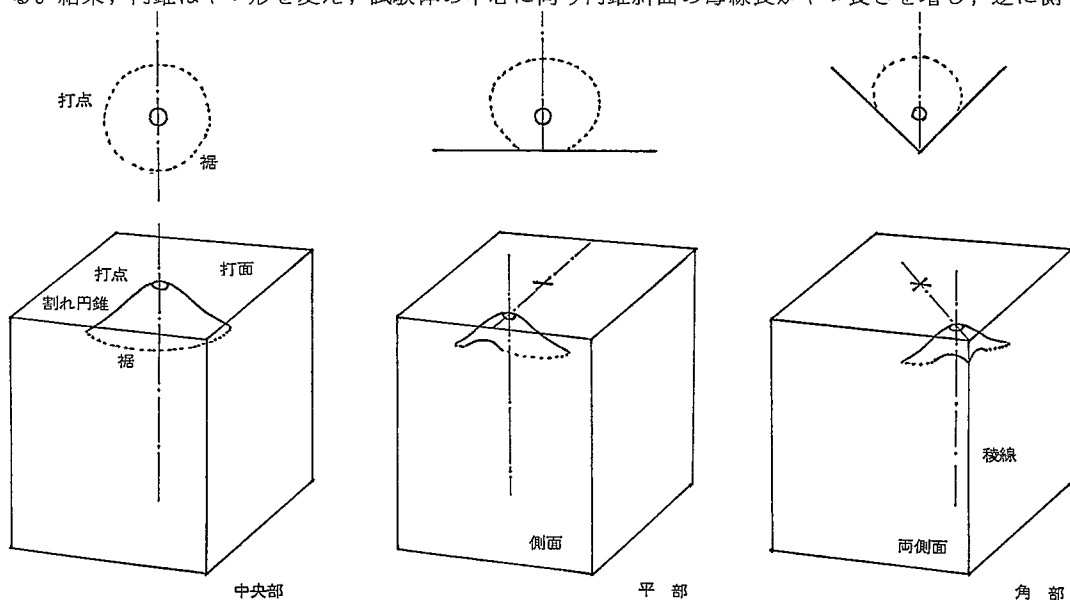
ところで、割れ円錐の斜面は波打っていて、母線は正円錐のように直線にならない。円錐頂角の測定にも約束が必要である。したがって先に示した黒曜石、サヌカイト、ガラスの頂角は概数を示すにとどまる。

2) 割れ円錐の変形(1) (第2図参照)

試験体を直方体状に整形、I-2)で使用した $6 \times 6 \times 7 \text{ cm}^3$ の試験体を用いた。潜在する円錐の状況を観察するにはガラス塊が都合よい。

衝撃点を上面中央(打面と呼ぶ)に設ける。垂直に加撃する。形成される円錐状の割れは、II-1)で説明した正円錐状をとる。

衝撃点を打面の中央から移動させ、上面を構成する一辺の縁中央に寄せることにより、形成される円錐に起きる変化を観察した。3cmの一辺の中央、縁から10mm入った位置に衝撃点をセットする。結果、円錐はやゝ形を変え、試験体の中心に向う円錐斜面の母線長がやゝ長さを増し、逆に側



第2図 平部・角部における割れ円錐の変形

Deformations of the cone caused by changes in the point of impact.

面に向う斜面の母線長は短くなる。一見斜円錐状にみえる。この変形は重要なことである。

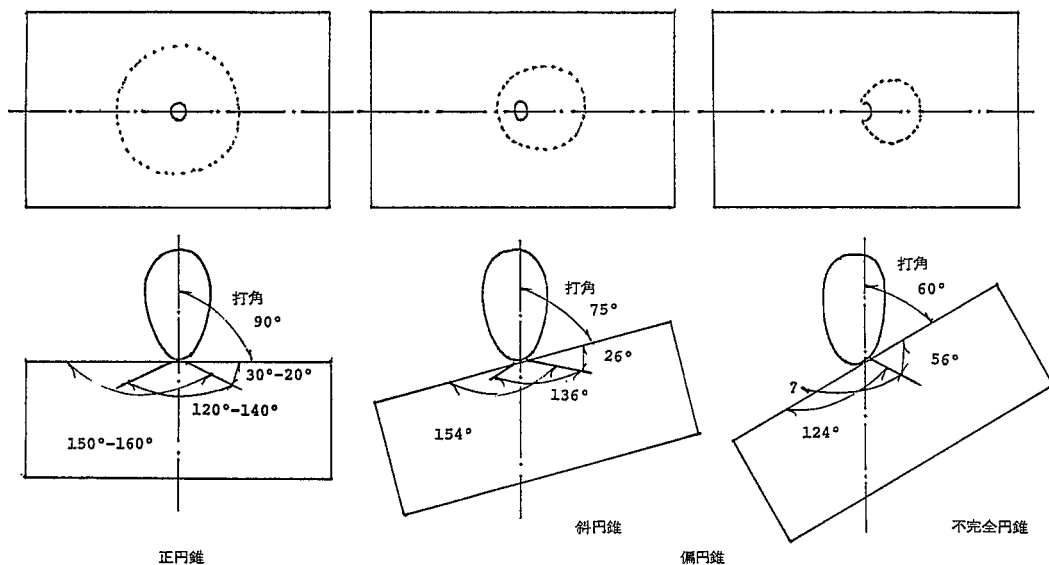
変形の傾向はさらに試験体の角部に加えた衝撃によって形成される割れ円錐にも観察される。平部、角部とも割れ円錐の斜面の裾が、側面に割れ^{きず}となつて現われることもある。円錐の軸と平行した側面に現われる^{きず}は円錐曲線のうちの双曲線をとる。たとえ角部で二側面に^{きず}が生じても、割れ円錐頂部を覆う逆円錐の帽子が飛んでしまうことはまれである。すなわち、加えられた衝撃の打点直下には必ず割れ円錐が潜在していることになり、その斜面が外側（側面側）と中心側ではバランスをくずすことがはっきりと理解される。そこでこの斜面が発達することによって剥片が形成されることにつながる。（その辺の事情についてはⅢにゆずる。）

3) 割れ円錐の変形(2) (第3図参照)

2)での実験はいずれも衝撃を、打面に対して垂直に加えた。しかしもう一つ円錐の形成で重要な要素がある。斜方向に加えられた衝撃による割れ円錐の形状の変化である。製作実験の中では打撃角を変化させることにあたる。

同様にガラス材が観察しやすいが、打面に垂直に加えた打撃によって生ずる円錐は正円錐形をとることをすでに述べた。頂角は概畧 $120^{\circ} \sim 140^{\circ}$ をなす。したがって打面と割れ斜面とに狭まれる円錐帽子の角は $30^{\circ} \sim 20^{\circ}$ になる。また打面のハンマーとの接触点に打痕を残し、径数 mm の円形状の弧線^{きず}をなす。径の大きさはハンマーの端部の曲面の状況で変わる。

打角を傾ける。実験上では打撃方向を垂直にとるため、試験体を傾斜させることになる。打撃方向（軸）と打面傾斜の上位とのなす角度を 75° に設定する。このときの割れ円錐の頂角は約 136°



第3図 打撃角の変化による割れ円錐の変形

Deformations of the cone caused by changes in the angle of impact.

を示し、傾斜上方での狭角は 26° をとる。したがって斜面下方の狭角は 18° となる。また傾斜走行方向（最大傾斜に直交方向）では左右ほぼ似たバランスをとる。

ここで指摘できるのは、衝撃の軸に対して割れ円錐の斜面は明らかにバランスをくずしている。結果的には正円錐と似た頂角の割れ円錐が傾いて潜在していることになる。ただし正円錐と違う点は裾部のひろがりであり、その母線長は斜面の上方側に長く、下方側に短い斜円錐形をとる。また打痕裂は楕円形状の弧線きずとなる。

さらに打撃方向を傾斜させ、打角を 60° にとる。衝突点はハンマーの先端でなく、前例 75° の場合よりもさらに側面へと移る。そのためにハンマーと打面の接触は斜面上方部だけとなり、打痕は逆C字状の弧線きずをなす。割れ斜面は傾斜上方部に向って、逆C字弧線きずを要に扇形状に展開する。不完全な円錐形をなし、まさに貝殻状といえる。打面との狭角な 56° をとり、頂角は斜面下方での割れ斜面を欠くために測定できない。これからこの状況を斜面下方で、割れ円錐斜面が物体外部に出て、仮定の斜面をつくると受けとることもできよう。すなわち、正円錐の頂点を含むある斜方向に、打面で切断した状況とでもいえよう。

打角を 75° と 60° にとり、形成される割れ円錐斜面を観察した。この状況は打点が、試験体のほぼ中央においてテストしたものである。これを2)で行ったように試験体の一側縁にまた角部に寄せたときどのような変形をおこすだろうか、実験を伴なわないが、相乗的に変化するものと予測している。それは割り易さにも結びついた結果を得られるに違いない。そのときはじめて剥片の打面と主剥離面とのなす角を剥離角とする考え方に対する解答が得られるよう。今後の問題として興味あるところである。

おわりに

I 材質、II 割れ円錐の形成について主として実験の経過を述べてきた。その経過から知れるように、現状ではこの種の問題に対して十分な対応策をもっているとはいえない。それだけに結論めいたことは差し控えるとして、今後の問題点を指摘するにとどめたい。

I-1) 材質の硬さ

サヌカイト、チャート、頁岩、黒曜石とごく一般的な石器用材について硬さを確かめた。モース硬度の5~8の間にあり、黒曜石<長石(6)<サヌカイト<石英(7)=チャート、頁岩の結果を得た。

一方、打撃に対する反応をみるため、岩石の硬さについてアイゾット衝撃試験を行った。衝撃強度の平均値は黒曜石:2.452<チャート:3.932<サヌカイト(平行):4.822<サヌカイト(直交):4.828<頁岩:7.1476 kgf cm/cmであった。

これらの平均値の相互の関係の中で、チャートとサヌカイト(直交)及びサヌカイト(平行)と(直

交) の間の関係はあまり信頼できる差をもっていない。サヌカイトの割れ易い方向性についてのさらには綿密な吟味が必要である。

また同様に硬さの検討を要するものにハンマーの材質がある。同種の石材とともに軟質ハンマー材としての鹿角、樫材などについても含めて試験してみたい。

石器用材、またハンマー用材は何んらかの形で割れに関与したある係数をなすものとみられる。

II-2) 材質部位による硬さの差について

サヌカイト、黒曜石塊についての材質の位置による硬さの変化について調べた。割り処理が石材の周辺部に沿って行なわれるため、縁辺部での強度が、測定される中心部での強度に対してどんな関係を示すかを明らかにしようとするのが目的である。

硬さの測定にはショア硬さ測定機を用いた。その結果は硬さ平均値で、黒曜石：99.82、サヌカイト：102.0である。この数値に対しては1)のアイゾットによる衝撃値の差ほどに顕著ではない。ともに周辺部に向けて強度を減じている。黒曜石での割合は、中心：100%に対して平均10mm：88%、平部5mm：84%、角部10mm：72%、角部5mm：66%である。サヌカイト及び比較資料のガラスでも似た数値を得ている。

しかし実際の打ち割りの感じからすればコンクリートテストハンマーの結果にみる、中央部の1/3程度の強度に近いものである。ひきつづきこの状況の詳細を検討するとともに、また打面上での位置についても今回の実験の5位置ばかりでなく、ランダムであっても全体の関係が扱えるテストに、加えて打面と側面の角度、角部における角度の変化も考慮し、その上で材質の部位による強度の違い——位置と強度の相互関係を検討すべきであろう。

II-1) 割れ円錐

割れ円錐の頂角は黒曜石：約120°、サヌカイト：約120°、ガラス：120°～140°である。材質の内部に潜在する割れ円錐の測定には今のところ良い方法がなく、データにはなっていない。割れ円錐斜面の母線は直線ではなく、細かい波状の曲線である。したがって頂角の計測にもある基準を設ける必要がある。

II-2), 3) 割れ円錐の変形

直方体の上面に垂直に加えた衝撃による割れ円錐が、平部、角部に近づくとき中心に向う割れ斜面が発達するユニークな現象をとらえることができた。その理由については今のところ明らかにできない。この性質が剥片の形成と深い結びつきをもつものと判断している。また一方、打面と傾斜した方向で力を加えることによって割れ円錐の形状は変化することが知れた。今後この二つの要素の組合せによってさらに剥片形成への条件を整理し、あきらかにしていきたい。

参考文献

- 1) 自然科学の手法による遺跡・古文化財の研究 昭和53年度年次報告書 p361—371 1979参照
- 2) 平田森三 割れ目の物理学 自然 253号 p17—32 1967年
- 3) J. D. Speth (1977): Experimental Investigations of Hard-Hammer Percussion Flaking Experimental Archaeology pp. 8—16, New York.
- 4) L. S. B. Leakey (1953): Adam's Ancestors, London.

EXPERIMENTAL STUDY OF LITHIC TECHNOLOGY —Basic data for experimental reproduction and detailed measuring of stone tools—

Tsugio MATSUZAWA

Nara National Research Institute of Cultural Properties, Nara

Physical testing of the lithic raw materials is an indispensable primary task for the experimental study of stone tool making. In this paper the author explains data obtained from tests of the hardness of stones and the formation of cones of percussion.

1) Stones with suitable qualities of elasticity, brittleness, homogeneity and rigidity must be selected as raw materials for tool making. Thus obsidian, sanukite, chert and shale were commonly used. The hardness of stones also has much to do with the process of tool production: the force needed to split a block of obsidian will not work well with a block of sanukite of the same size and shape. The reverse is also true. Moreover, every kind of stone has directional differences in its structure and differences to some degree in its hardness. This is especially significant in the case of sanukite, and its hardness must be checked from two different directions. Optical glass was included in the test samples to obtain reference data. The test for Moh's Hardness and the Izod Impact Test were used in this experiment. The results are as follows.

Moh's Hardness

obsidian < feldspar (6) < sanukite < quartz (7) = chert and shale

Izod Impact Test

obsidian : 2.452 < chert: 3.932 < sanukite (parallel) : 4.882 < sanukite (vertical):
4.828 < shale: 7.147kg cm/cm

Sanukite is twice as hard as obsidian and shale is three times as hard as obsidian.

2) The hardness of the material and the force needed to split it differ in the central part of the block and at its margin. For stone tool production the margin is the more important part, and the force of impact must be controlled according to the characteristics of this part of the raw material. Straight and angled margins of a test block were checked for Shore Hardness.

3) It is said that the shape of the cone formed under the point of impact varies according to the hardness of the material. However, the results of the tests reported here show no significant difference in the angles of the peaks of the Cones for obsidian, sanukite and shale, in spite of differences in their Izod values.

4) Distortion of the cone is observed when the point of impact is varied. Impact in the central part of the test block made typical Cones, whereas impact near a straight or angled margin caused the inward side of the Cone to develop better than the marginal side, making an oblique cone. The shape of the cone also varied with different impact angles. An impact angle of 75 degrees formed an oblique cone, but an impact angle of 60 degrees resulted in an incomplete cone lacking one side. The combination of these factors related to cone formation must really affect the facility with which tools can be made.

Data concerning the formation of fracture surfaces and detailed measuring techniques will be explained in a later paper.