

ノート

形態学的手法による象牙の鑑別

石 橋 浩, 森 尾 広 志, 淵 嘉 寿, 水 城 勝 美*

Morphological Identification for Elephant Ivory

Hiroshi ISHIBASHI, Hiroshi MORIO, Katoshi FUCHI, Katsumi MIZUKI*

*MOJI Customs Laboratory

3 - 10, Nishikaigan - 1, MOji - ku, Kitakyushu City, 801 - 8511 Japan

The aim of this paper is to develop a visual and non - destructive method of distinguishing elephant ivory from mammoth ivory. Schreger lines, which don't mean Hunter - Schreger bands, are commonly referred to as cross - hatchings and displayed in polished cross - sections of elephant and mammoth ivory dentine. Several studies have been made to demonstrate morphological difference between elephant and mammoth ivory. The intersections of outer Schreger lines can form two angles: concave angles and convex angles. We attempted to discriminate between elephant and mammoth ivory by comparison of outer Schreger angles.

A clear separation was ascertained in distribution of two outer Schreger angles of elephant and mammoth ivory. A detailed comparison of mean of two outer Schreger angles was given of precise difference between two ivory samples.

We also considered variation of these angles in portion of the dentine. Convex angles, which are close to the cementum, was inclined to be larger than that around the pulp cavity. That tendency in mammoth was more remarkable than that in elephant ivories. It was found that measurement angles in some part of the dentine became feasible for more precise identification.

These methods are applicable to carved ivory stamps retaining their original shapes as morphologically recognizable objects.

1. 緒 言

歯牙等の派生物によりその動物種の特質を探る試みは古くから行われてきた^{1) - 12)}。象及びマンモスは長鼻目に分類されており、比較的単純な形態を示す切歯(牙)と複雑な形態を示す臼歯を持っていることから、組織学的及び系統進化学的研究が行われた一因となっている。

近年、マンモス、ラクダ等の大型動物の骨若しくは歯牙と偽って象牙及び象牙製品を輸入しようとする動きがあり、嫌疑物件に関する鑑別技術の確立、進展が望まれている。

真正象牙製品には象牙特有のしま模様があり¹³⁾、石黒らは象牙、象牙類似品及び模造品の鑑別について、象牙の横断面に見られるひし形模様の有無を確認することを提起している¹¹⁾。また、WWF による「アイボリー及びアイボリー代用品に関する鑑定指針」(以下 WWF 鑑定指針と記す)には、横断面のひ

し形模様は象等の長鼻目にのみ見られ、さらに象及びマンモスではひし形模様の形状に差異があり、これに着目して判別することを薦めている¹⁴⁾。

そこで、著者らはこれらの知見を踏まえ、形態学的手法による象牙及び象牙製品の鑑別技術の確立について検討した。

2. 実 験

2. 1 試 料

象牙及び象牙製品(52 検体)

マンモス牙(17 検体)

2. 2 実験項目

2. 2. 1 試料の前処理

試料表面が汚れ等で観察ににくい場合は洗浄を行った。さらに一部のものについては研磨を行った。研磨の際は必要に応じ

* 門司税関業務部分析部門 〒801 - 8511 北九州市門司区西海岸 1 - 3 - 10

て、希塩酸で処理した。

2.2.2 象牙質の任意の箇所における角度測定 (WWF 鑑定指針に準拠した角度測定)

試料表面を事務用複写機により拡大コピーを行い、象牙質に見られるひし形模様の各交点を Fig.1 のように直線で結び、生じる 2 種類の角（以下シュレーゲル角 (Convex Angle 及び Concave Angle) という）を測定した。試料は、象について 13 検体、マンモスについて 12 検体、おのの任意に Convex Angle 10 箇所、Concave Angle 10 箇所測定した。（象；N = (10 箇所 + 10 箇所) × 13 検体、マンモス；N = (10 箇所 + 10 箇所) × 12 検体）。

2.2.3 横断面の測定位置に着目した角度測定

横断面全体が明瞭に観察できる試料、すなわち象牙質のみならずセメント質も観察される試料について、2.2.2 とは別に Convex Angle を測定した。測定位置はセメント質に最も近い

象牙質を起点とし、歯髄の中心を終点とした。測定位置の表現は、起点及び終点との百分率で表し、起点を 0%，終点を 100% とした。測定は、象 5 検体、マンモス 5 検体について、ひし形模様が観察される部位についておのの偏りなく 120 箇所測定した（象；N = 120 × 5 検体、マンモス；N = 120 × 5 検体）。

2.2.4 象牙質の特定部位における角度測定

象牙に関して、ひし形模様が容易に観察される部位で、かつ歯髄に最も近いものの Convex Angle を起点とし、隣り合ったひし形模様単位毎にセメント質方向に向かって 4 点測定した。

また、マンモス牙に関して、セメント質に最も近い Convex Angle を起点とし、隣り合ったひし形模様単位毎に横断面の中心方向に向かって 4 点測定した（象；N = 4 点 × 10 ~ 20 箇所 × 5 検体、マンモス；N = 4 点 × 10 ~ 20 箇所 × 5 検体）。

2.2.5 印材における角度測定

試料 (16 検体) の横断面を観察し、象牙質に見られるひし

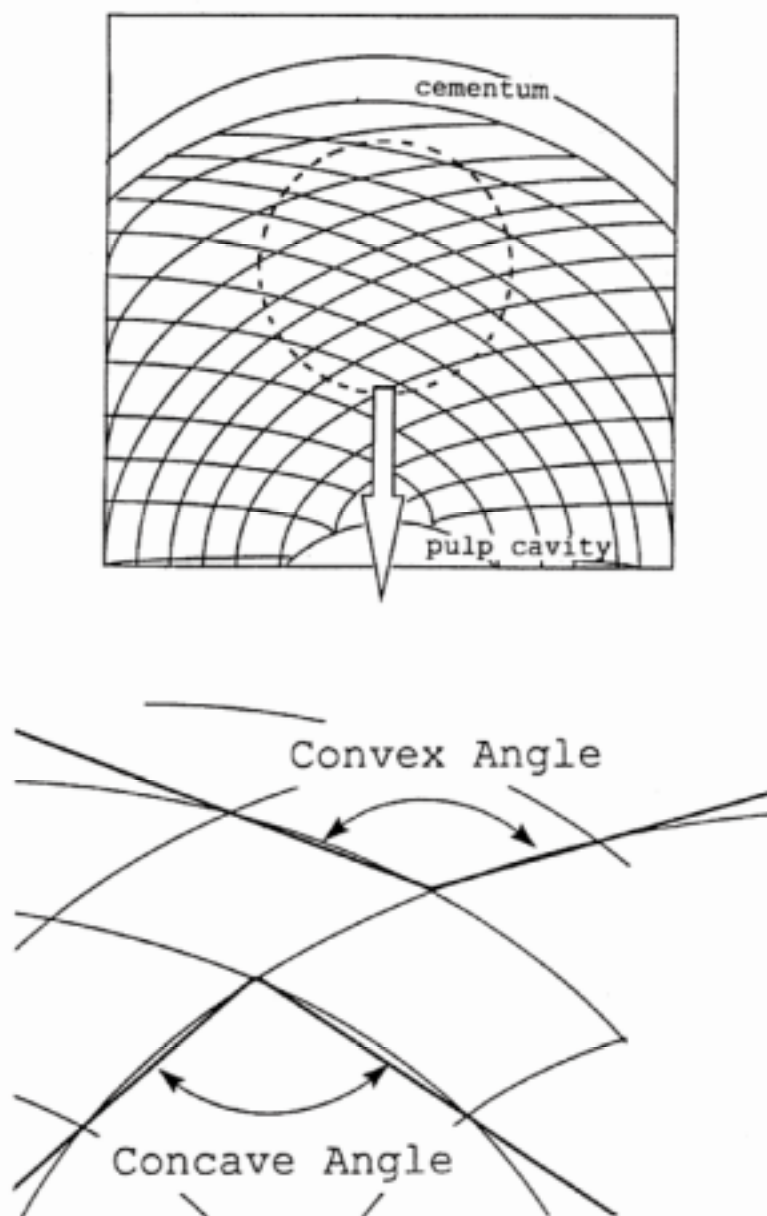


Fig.1 Shreger angles: Convex and concave angle.

形模様が明瞭に観察できるもの(10 検体)について角度測定を行った。ひし形模様を形成する線(以下シュレーゲル線(Schreger line)という。ただし、これはエナメル小柱のしま模様を指すシュレーゲルの条紋(Schreger's line 若しくは Hunter - Schreger bands)と同じものではない)の走行方向により Convex Angle を推定し、セメント質側と思われる部分から順に数箇所にわたり測定した。

2.2.6 彫刻品の観察

象牙を装飾品・置物として彫刻された物品について事務用複写機による拡大コピー及び写真撮影を行った。写真撮影はひし形模様の認められる部位に重点をおいた。

3. 結果及び考察

3.1 紫外線照射による蛍光特性

Photo.1 は可視光下における磁器製品及び象牙製品を示したものである。Photo.2 は波長 365nm の紫外線照射下における磁器製品及び象牙製品を示したものである。Photo.2 に見られるように象牙製品は紫外線照射により青色の蛍光特性を示す。この特性に着目して、骨及び歯牙とその他の模造品とが判別できる^{11), 14)}。



Photo. 1 Porcelain and carved ivory object.



Photo. 2 Apatite fluorescence in carved ivory object.

3.2 WWF 鑑定指針に準拠した角度比較

Photo.3 は象牙の横断面、Photo.4 はマンモス牙の横断面を示したものである。どちらの象牙質にもひし形模様が見られる。

Fig.2 は 2.2.2 による 2 種類のシュレーゲル角の測定値を象及びマンモスごとに頻度分布を示したものである。Fig.2 では象及びマンモスのシュレーゲル角の間には明らかな差異があることが認められ、象では 125° 付近、マンモスでは 65° 付近の頻度が最も高くなっている。

Fig.3 は各標準試料における 2 種類のシュレーゲル角について、2.2.2 によって測定したものの平均値及び 95%信頼区間を示したものである。95%信頼区間とはある母集団について 100 検体測定を行う場合、95 検体はその区間に属するであろうことを示す。象及びマンモス牙の 2 種類のシュレーゲル角の平均は、100° 付近で明瞭に分離することが示された。

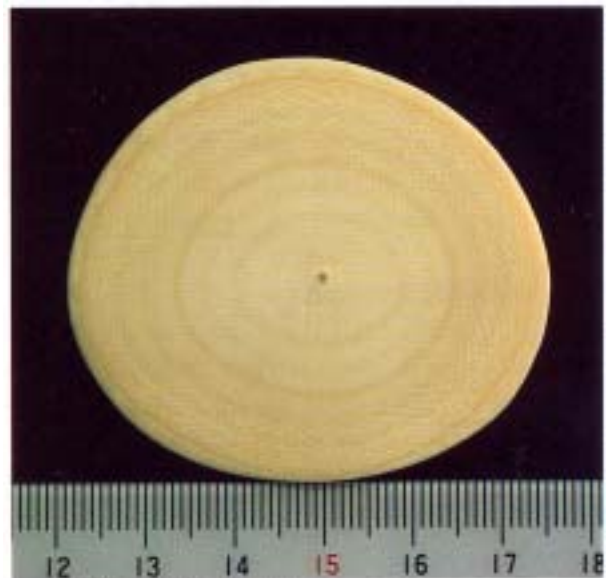


Photo. 3 Elephant tusk in cross-section.

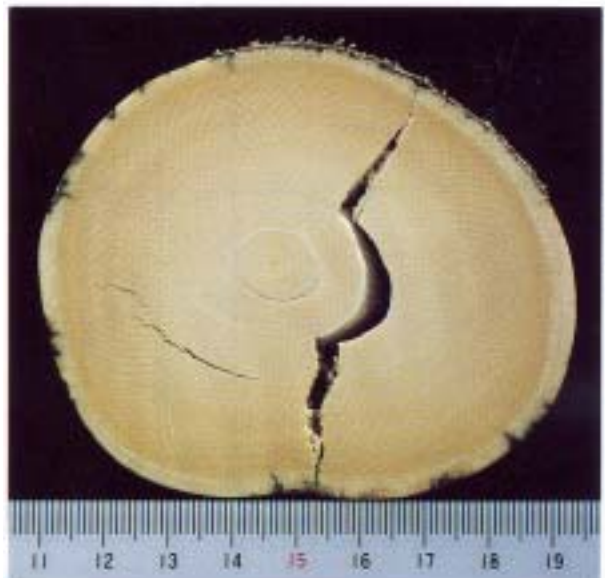


Photo. 4 Mammoth tusk in cross-section.

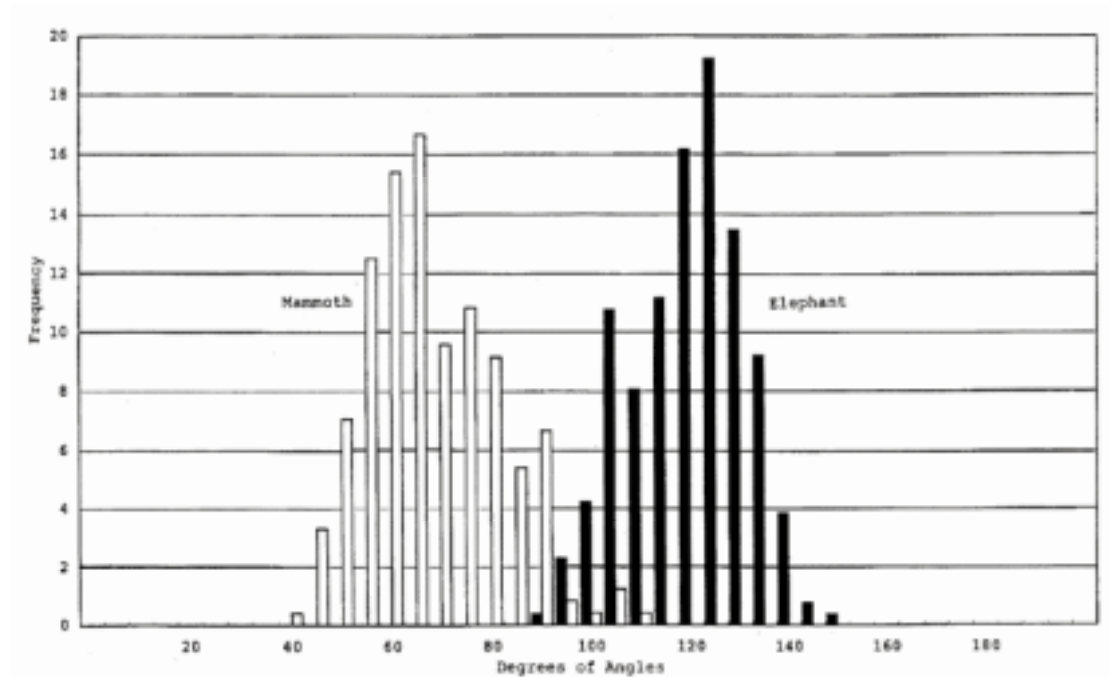


Fig.2 Histogram of all Shreger angles of elephant and mammoth ivory samples.

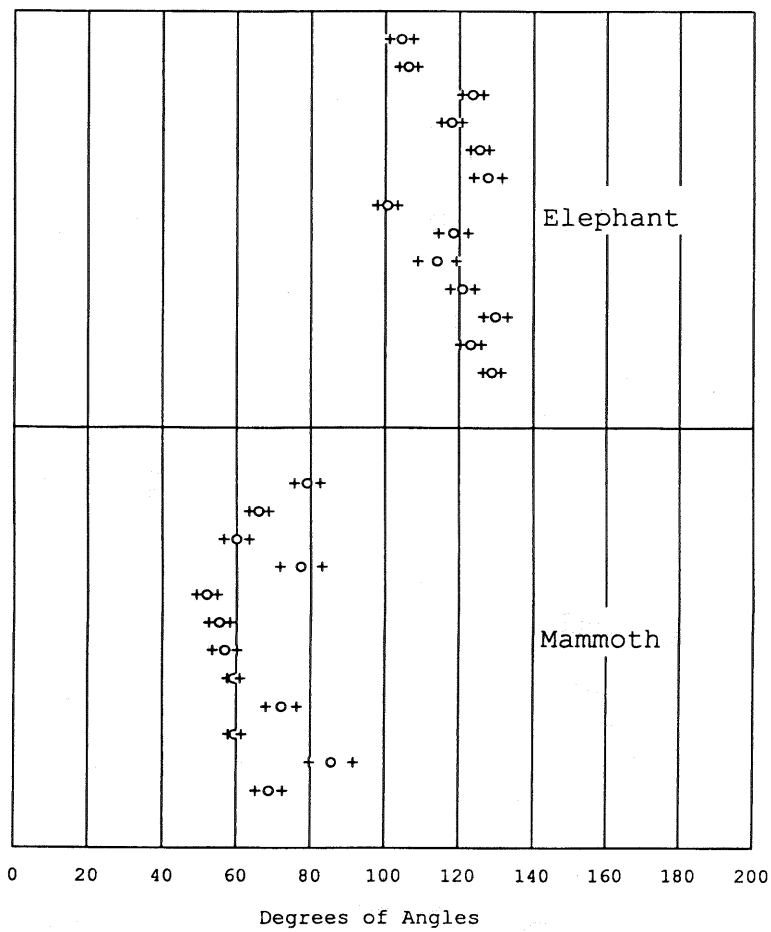


Fig.3 Plot of mean and confidence interval (95%) of Shreger angles of elephant and mammoth ivory.
 ; average of the concave and convex angles.
 + ; confidence interval (95%).

一方, WWF 鑑定指針では角度の測定値が 115° を超えるものであれば象, 90° 未満であればマンモスであると記されており, Fig.2 はこれを裏付けるものとなっている。しかし, Fig.2 において, 90° 以上 115° 未満の範囲では, 低頻度ではあるが, 象及びマンモスのシュレーゲル角が測定されている。また, Fig.3 では, 象牙の角度の測定値が 115° を超えないものも見い出されるため, 未知試料における測定値が 90° 以上 115° 未満の範囲にある場合は判定に注意を要する。

3.3 測定部位による角度の比較

WWF 鑑定指針には「 90° から 115° の間で象の Concave Angle の小さいものと, マンモスの Convex Angle / Concave Angle の大きなものが重複する」とあり, また, 象の Convex Angle は Concave Angle よりも大きくなる傾向が認められるため, Convex Angle のみについて比較を行えば, 象及びマンモスのシュレーゲル角の大きさの差異が増大し, 鑑別が容易になると考えられる。そこで, Convex Angle について比較検討した。Fig.4 は, 横断面全体が明瞭に観察できる試料について, 象及びマンモスにおける Convex Angle の 2.2.3 による測定値を頻度分布で示したものである。Fig.4 においても低頻度ではあるが重複する部分が存在した。

Fig.5 は, 2.2.3 による測定位置及び Convex Angle をプロットしたものである。象, マンモス共に, 測定位置がセメント質に近くなるほど Convex Angle は大きく, 歯髄の中心に近くなるほど Convex Angle は小さくなる傾向があり, 特にマンモスにおいてこの傾向が顕著である。

Fig.6 は, 2.2.3 による各測定位置における Convex Angle を頻度分布で示したものである。セメント質に近いものから歯髄の中心へ移るに従い, マンモスの Convex Angle の急激な鋭

角化によって, Fig.6 の 30% Position < 40% では, 象とマンモスの頻度分布が完全に分離した。このことから, 牙の横断面全体が観察できる試料については, 測定位置を工夫することにより, より詳細な鑑別が可能であることが期待された。

Fig.5 により, 象牙の Convex Angle が最も鋭角化する部位(歯髄に最も近い部位)とマンモス象牙の Convex Angle が最も鈍角化する部位(セメント質に最も近い部位)とは, 角度の大きさが近接することが予想された。そこで, これらの部位を比較するために, 2.2.4 により, これらの部位に関して, ひし形模様単位毎に Convex Angle を測定し, それらの頻度分布を示したものが Fig.7 及び Fig.8 である。

Fig.7 は, 象牙について示したものであるが, 象牙の Convex Angle が最も鋭角化する部位によるものであるため, A から D のいずれも, 頻度の高い部分が 105° 以上 135° 未満の範囲にある。

一方, Fig.8 では, セメント質に最も近い部位の Convex Angle に関する頻度分布 (Fig.8A) は他の 3 点に関するものと比較して, その形状が大きく異なっている。Fig.8A では頻度の高い部分が 95° 以上 115° 未満の範囲にあり, 象牙に関する頻度分布と類似したものとなっている。このことから, Fig.8A のようにセメント質に最も近い部位の測定を行った場合, 象及びマンモスの判別が困難となりうることが予想された。

3.4 印 材

Photo.5 は, 印材として裁断された象牙製品の底面部分を示したものである。Photo.5A, B 及び C に見られるように, 大部分のものはひし形模様が明瞭に観察され 2.2.5 による角度測定を行ったが, Photo.5D に見られるように, いくつかの印材についてひし形模様が明瞭に確認することができず, 角度測定を行わなかった。

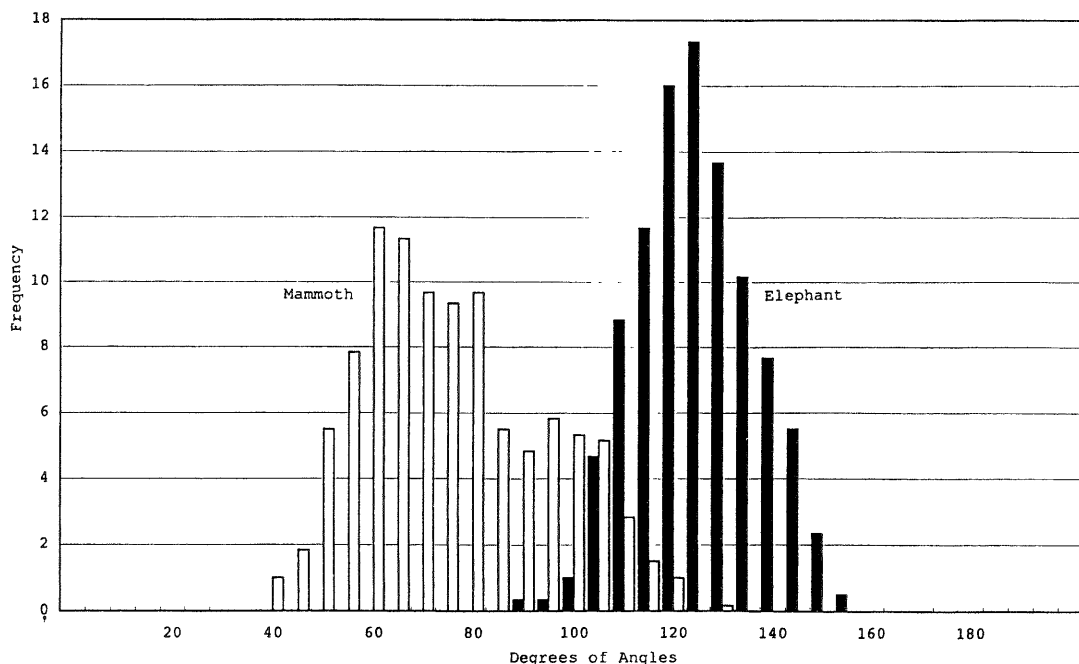


Fig.4 Histogram of convex angles of elephant and mammoth ivory samples.

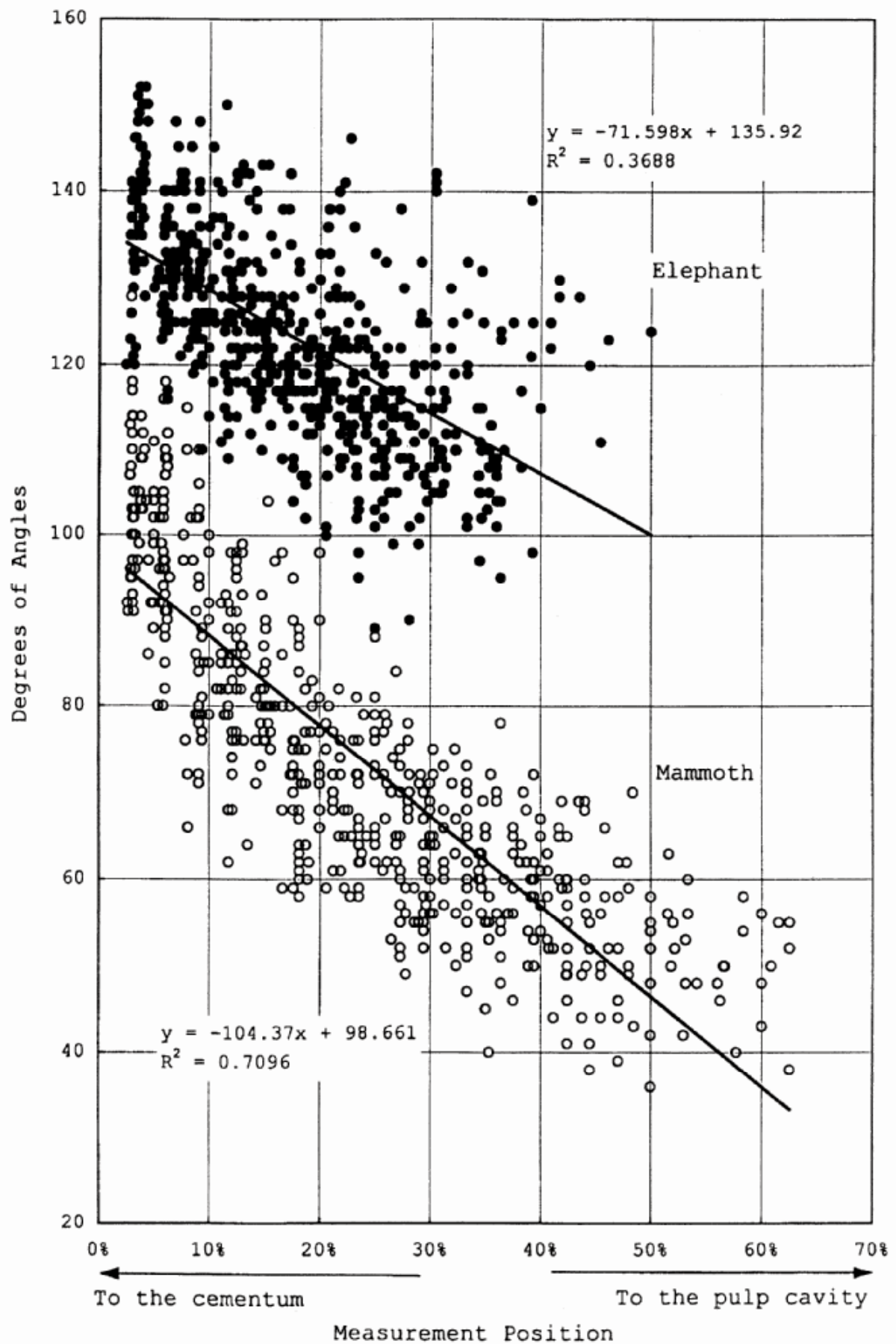


Fig.5 Plot of measurement position and its convex angle.

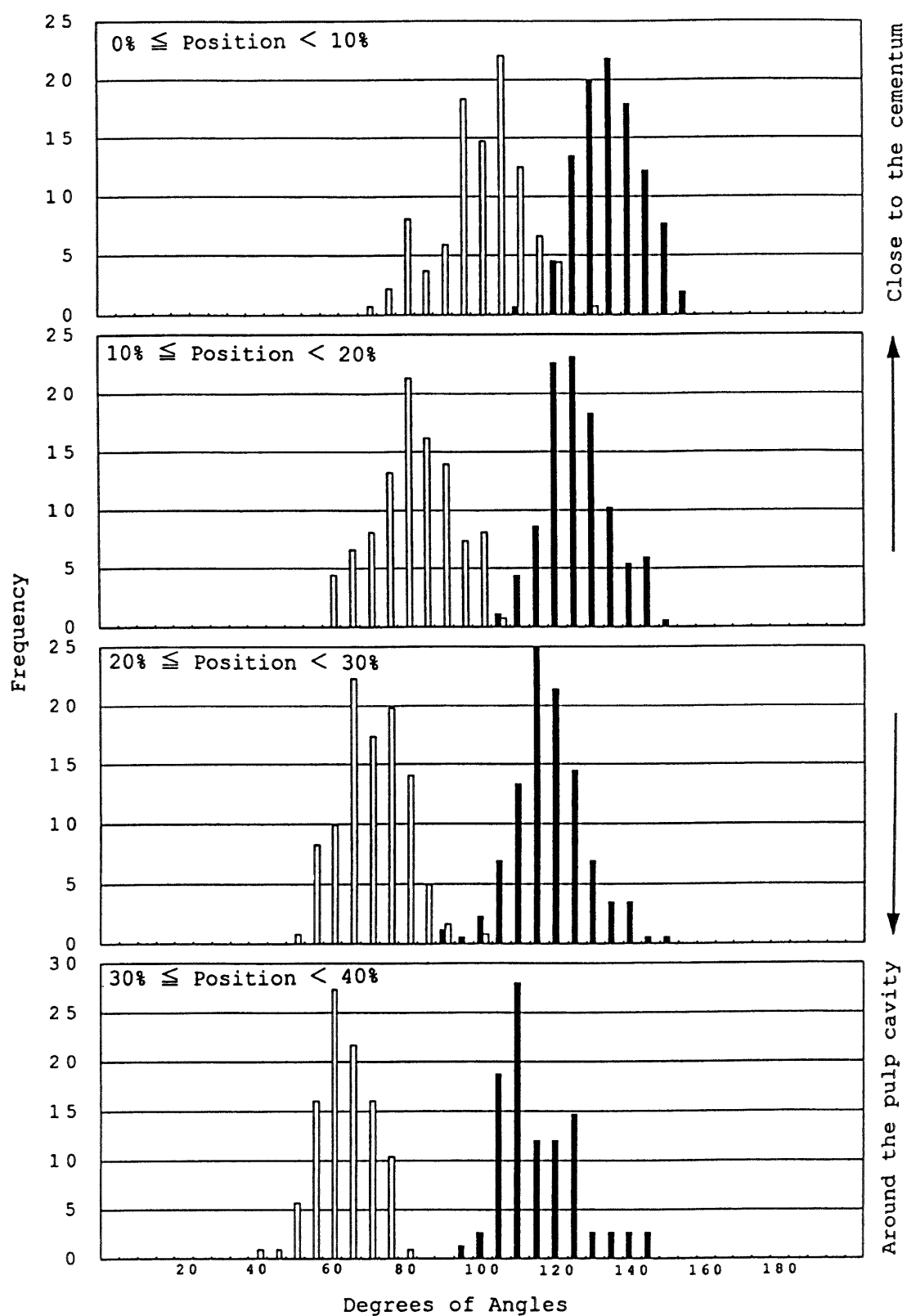


Fig.6 Histograms of convex angles in several measurement positions.

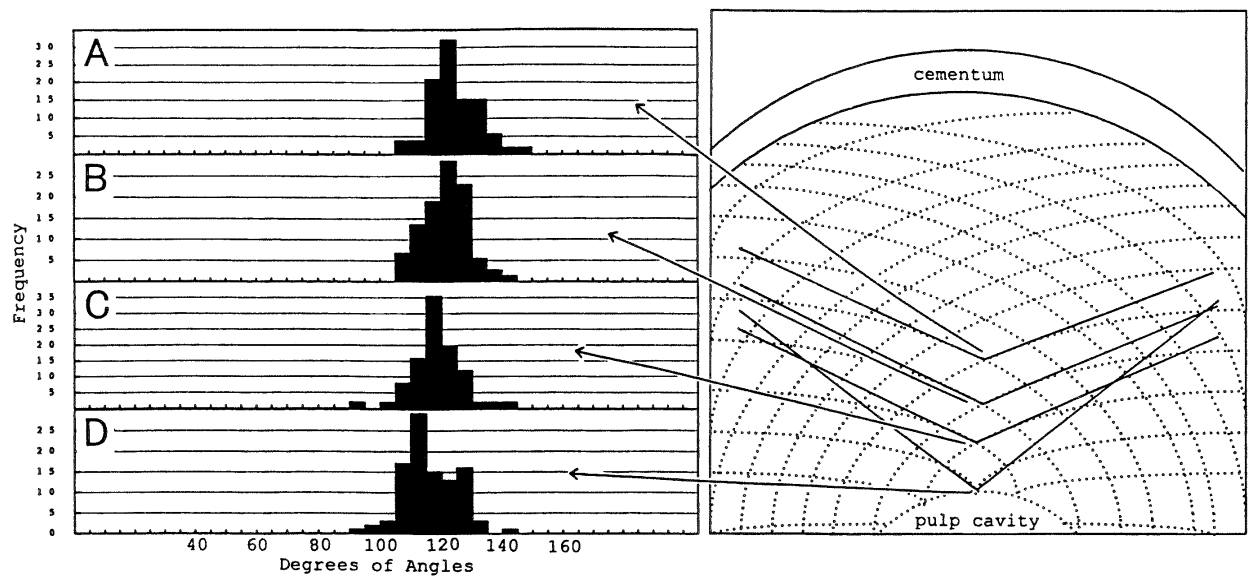


Fig.7 Comparison of histograms of convex angles in neighboring rhombic units(Elephant).

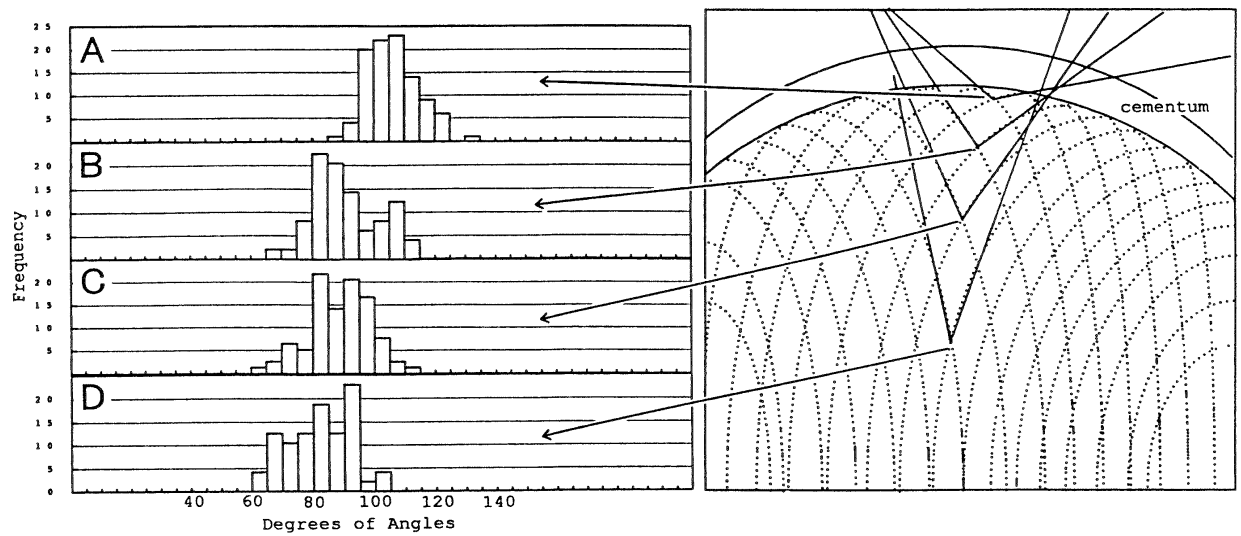


Fig.8 Comparison of histograms of convex angles in neighboring rhombic units (Mammoth).

角度測定が可能な印材について、印材横断面のセメント質側と思われる部分からひし形模様単位毎に Convex Angle を測定したものを Table1 に示した。Fig.7 及び Fig.8 をもとに象及びマンモス牙の同定マップを作成し、Table1 の測定値をあてはめたのが Fig.9 である。測定値のほとんどすべてが象牙の標準データである Fig.7A から D の範囲に含まれ、象牙を加工したものであることが確認された。

このような半製品は、横断面積が小さく、象牙質の一部分しか観察されないため、WWF 鑑定指針に記されているような複数箇所にもわたるシュレーゲル角の測定が十分にできないことが多い。しかし、ひし形模様が明瞭に観察される印材であれば、シュレーゲル角の測定を任意の数箇所について行い判別することが可能であることが期待された。ただし、Fig.7A から D は象牙の Convex Angle が最も鋭角化する部位に関するものであるため、試料測定値はこれらよりも幾分か大きくなることが予想される。

しかし、試料が象若しくはマンモスのいずれか不明である場合は、幾分の工夫が必要であることが予想される。すなわち、Fig.8A のように、マンモス牙において測定値が 115° を超える

ものがあり、未知試料の測定値のいくつかが 115° を超えたとしても、その試料が必ずしも象牙のものであるとは断定しがたいからである。Fig.8B から D のいずれも 115° を超えるものがなく、Fig.8A においても 130° を超えるものが全体の 1%程度しか見いだされなかったため、複数箇所にもわたるシュレーゲル角の測定が十分にできない場合には、すべての測定値が 125° を超えるものを象牙と判定し、その他の場合は、他の分析法と組み合わせて判定するのが好ましいと考えられた。

ただし、本研究ではマンモス牙の印材については試料を入手することができず、比較検討を行うことはできなかった。

3.5 彫刻品

Photo.6 は、置物として彫刻された象牙製品を示したものである。Photo.6A のように高度に彫刻された物品は、形態学的手法による観察部位が限定されてしまう。しかし、ひし形模様が観察され、模様が規則正しく、対称形など調和のとれたものが良品であるとされる¹³⁾ことから、高級品ほどひし形模様が観察されやすい傾向にあると言える。Photo.6B 及び C はひし形模様の観察される部位を示したものである。これらの部位について Convex Angle 及び Concave Angle を測定し、95%信頼

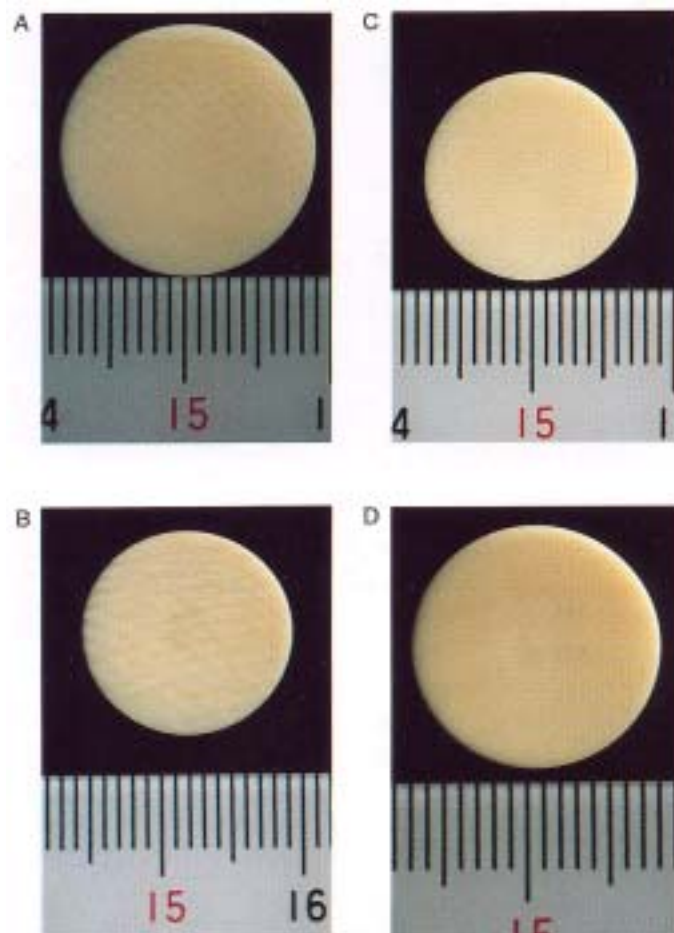


Photo. 5 Carved elephant ivory stamps in cross-section.
A, B and C; Clear Schreger lines defined.
D; Obscure Schreger lines.

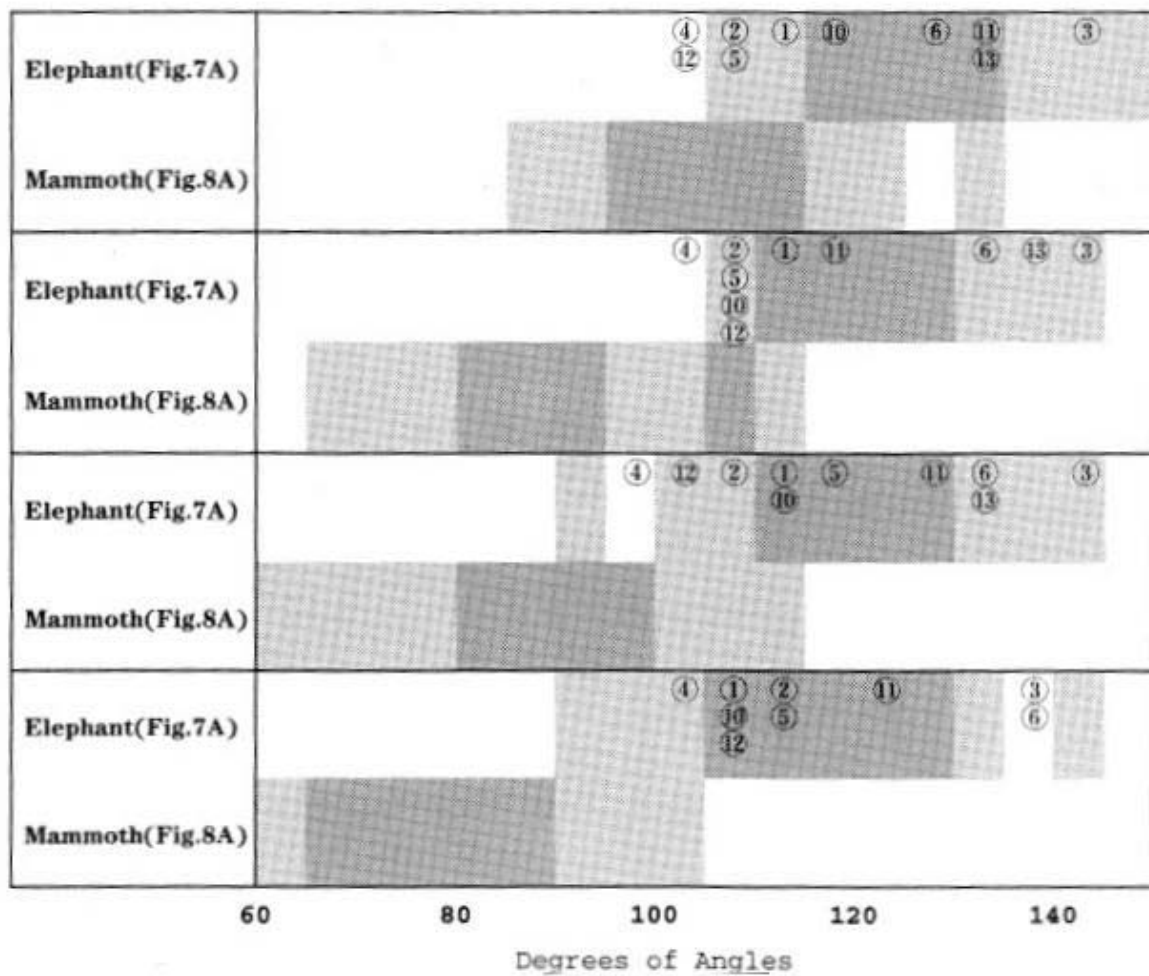


Fig.9 Identification map for ivory samples with measurement of convex angle.

Circle numbers mean Sample No. in Table1.

Sample No.	A	B	C	D
No. 1	110	115	110	108
No. 2	109	110	108	113
No. 3	140	140	140	138
No. 4	104	105	98	100
No. 5	108	110	115	110
No. 6	128	133	132	135
No. 10	118	113	111	107
No. 11	130	122	125	120
No. 12	103	110	103	105
No. 13	130	136	130	—

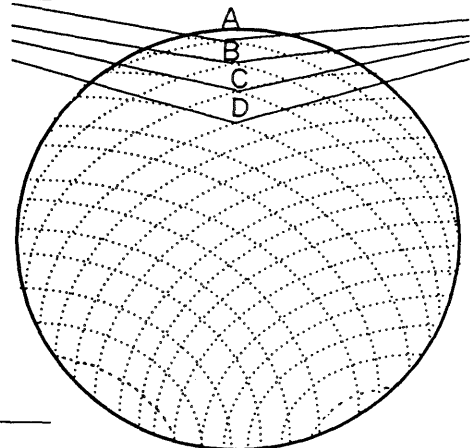


Table1 Convex Shreger angles of carved elephant ivory stamps

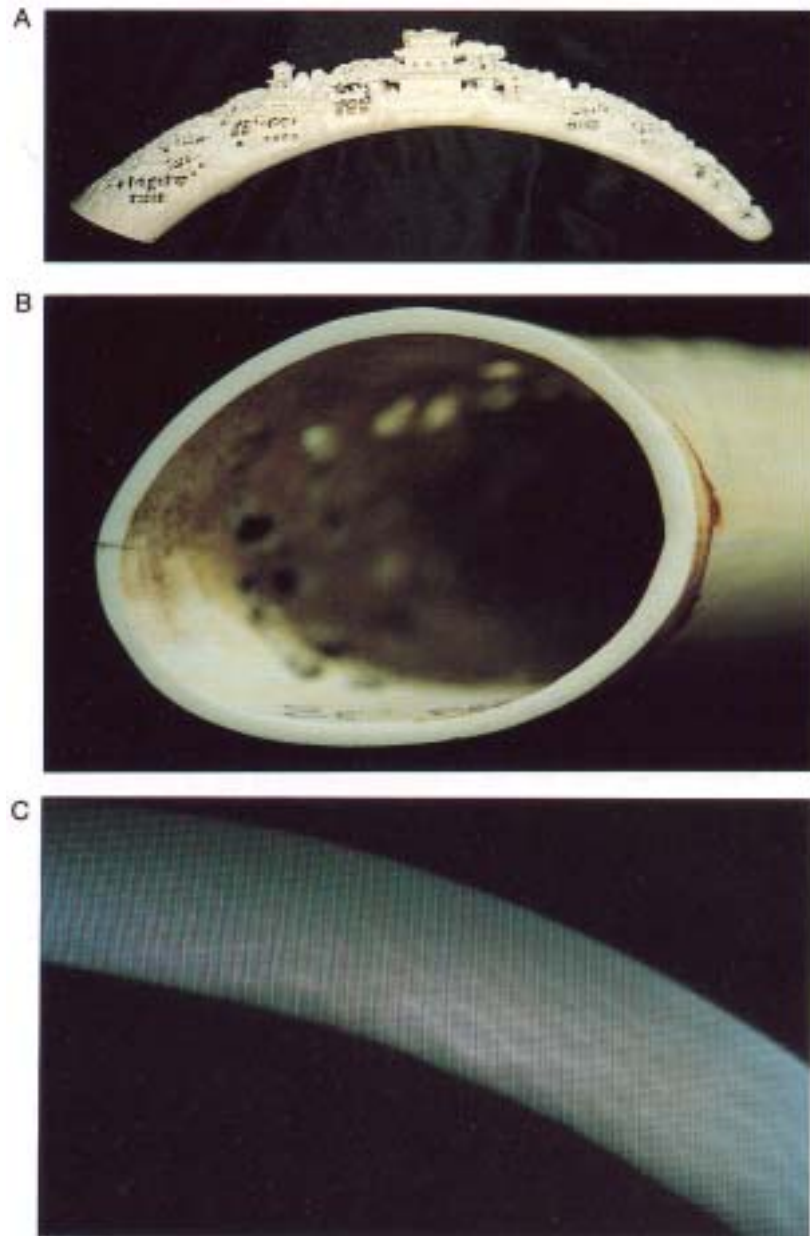


Photo. 6 Ornamental carved elephant tusk object.
A; longitudinal, B; transversal and
C; magnifying view of the object.

区域で表すと $119.7^{\circ} \pm 2.3^{\circ}$ となった。ただし、印材等は通常、牙を縦断及び横断しかなされないため、横断面を観察することは容易であるが、高度に彫刻された製品については、斜断された部位しか観察されない場合もあり、観察するのに何らかの工夫が必要になると予想された。

4. 要 約

形態学的手法により試料の横断面の観察を行うと、象牙及びマンモス牙には象牙質にシュレーゲル線によって形成されるひ

し形模様があることから、これの有無により他の大型動物の骨及び歯牙と区別される。また、ひし形模様に見られる２種類の角度の大きさは象牙とマンモス牙とでは明らかに有意差のあることが WWF の鑑定指針に記されており、本研究においてもほぼ同様な結果を得たことから、これらの２種類の角度の大きさによって象牙及びマンモス牙が識別可能であることが検証された。

さらに、彫刻品及び印材についても、いくつかのものはひし形模様が明瞭に観察され、象牙を加工したものであることが確認された。

また、横断面全体が観察されるものについては、測定部位を工夫することにより、より正確な鑑別ができることが期待された。

以上のことから、本手法は横断面の象牙質が明瞭に観察できる試料において、特殊な設備・装置を必要とせず、試料を破損することなく、短時間で結果が得られるといった長所を持つことから、輸出入通関に携わる検査部門において特に有用である

と考えられた。

最後に、本研究にあたり真摯な御指導、御協力をいただいた九州大学大学院の小池裕子教授及び岡山俊直大学院生、九州大学の毛利孝之教授及び嶺井久勝助手、同大学の岩元久雄教授、東京象牙美術工芸協同組合連合会の石橋保氏及び大蔵省関税中央分析所に深謝します。

文 献

- 1) 井尻正二：東京科学博物館研究報告，第 1 号，1(1939)
- 2) 井尻正二，川井尚文：東京科学博物館研究報告，第 23 号，1(1948)
- 3) 井尻正二，菅沼音一，川井尚文：東京科学博物館研究報告，第 24 号，1(1949)
- 4) 村木彌一郎：解剖学雑誌，第 33 巻，第 6 号，583(1958)
- 5) 福原達郎：解剖学雑誌，第 34 巻，第 3 号，322(1959)
- 6) 前島恒利：解剖学雑誌，第 36 巻，第 5 号，496(1961)
- 7) 小沢幸重：地球科学，第 28 巻，第 2 号，51(1974)
- 8) 小沢幸重：地球科学，第 31 巻，第 6 号，235(1977)
- 9) 小沢幸重：口腔病学会雑誌，第 45 巻，585(1978)
- 10) 小沢幸重：地球科学，第 36 巻，第 5 号，231(1982)
- 11) 石黒昌孝，関川義明，武藤五生：本誌，No. 29, 21(1989)
- 12) 山崎光廣，丸山清吾，佐藤宗衛：本誌，No. 31, 41(1992)
- 13) 藤田恒太郎：歯の話，岩波書店
- 14) IDENTIFICATION GUIDE FOR IVORY AND IVORY SUBSTITUTES, WWF(1991)
- 15) 藤田恒太郎：歯の組織学，医歯薬出版株式会社