

ナウマン象 (*Elephas naumanni*
MAKIYAMA) の

歯牙の組織学的・生化学的研究 (その1) *

象団研グループ **

I. ま え が き

1. 研究の目的と意義

日本列島における長鼻類化石のうち、もともと資料が豊富にあるナウマン象 (*Elephas naumanni* MAK.) を扱い、その形態、生理、系統、生態などの古生物学的研究を団体研究によつて進めることを目的とした。ここに報告するのは、1965年以来、ナウマン象のを中心に、象の歯牙の組織学的・生化学的研究をおこなってきた結果の一部である。

歯牙組織を構成している物質の構造と組成は、その動物の代謝過程の産物としてとらえられる。歯牙組織の比較解剖学的研究としては、OWEN (1840-45) 以来、数多くの研究があるが、哺乳動物の歯牙組織として、エナメル小柱の形、シュレーゲルの条紋、象牙細管の分岐のしかた、セメント小体の形と配列などが分類上の特長としてとらえることができる、とした研究は注目される (SHOBUSAWA, 1952; KAWAI, 1955; 前島, 1961; 村木, 1958)。このことは、歯牙組織の研究が、その動物の生理、系統、生態の研究と密接な関連性をもつことを示し、また、古生物学的研究において、化石として残存する硬組織である歯牙の組織学的・生化学的研究が重要な位置を占めるものであることを意味している。

長鼻類化石の歯牙組織の研究としては、レプリカ法による光学顕微鏡の研究 (井尻・川井, 1948), 歯牙構成物質の結晶学的研究 (佐藤ほか, 1957), 生化学的研究 (IJIRI & FUJIWARA, 1958, 1959; 藤原・井尻, 1959; IJIRI & KOBAYASHI, 1960) がある。また、国外にあっては、マンモス象の牙の有機物について、X線回折や電子

* 1968. 2. 19. 受理

** 秋山雅彦・藤原隆代・堀田 進・貝原 久・亀井節夫・小林巖雄・佐藤敏彦 (ABC順)

顕微鏡による研究(Bear, 1944; Randal et al., 1952)がある。

しかしながら、これまでに、哺乳動物化石のある種について、分子レベルからの追求を含めて形態、生理、系統、生態を総合的に研究されたことはなかった。したがって、ここではナウマン象についての、そのような古生物学的研究の一環として、その歯牙の組織およびその構成物を原子・分子レベルで追求した結果を報告する。

2. 研究の分担と方法

この研究においては、次のような研究を分担した。

形態学的研究……………亀井

組織学的研究

象牙質……………佐藤

エナメル質……………貝原

セメント質……………小林

生化学的研究……………秋山, 堀田

X線回折による研究……………藤原

方法としては、なるべく共通の試料をあつかい、研究結果について、全員で数回討論して問題点をあきらかにして、団体研究を進めた。今回の報告では、ナウマン象としては模式標本の佐浜産の牙の試料および野尻湖産、日御碕沖産のものを扱い、対照標本としては、現在のアジア象(*Elephas maximus* CUVIER), 化石としてシガ象(*Elephas shigensis* MATSUMOTO et OZAKI), 東洋象(*Stegodon orientalis* OWEN)の試料を扱った(第1表)。

この報告は、組織の観察および生化学的実験、X線回折の結果についての記載を中心に、亀井が総括したものである。

第1表 扱った試料 (List of the materials treated in this paper)

1. アジア象 *Elephas maximus* CUV. : 臼歯(Molars I-V, インド(? India), 現世(Recent).
2. ナウマン象 *Elephas naumanni* MAK. : 臼歯(Molars), 長野県野尻湖(Lake Nojiri, Nagano Pref.), 洪積世末期(Latest Pleist.),
3. ナウマン象 *Elephas naumanni* MAK. : 臼歯(Molar, lower right v) 日本海底, 島根県日御碕沖(Off Hinomisaki, Shimane Pref.), 洪積世末期(Latest Pleist.)
4. ナウマン象 *Elephas naumanni* MAK. : 切歯(Incisor) 新潟県柏崎市(Kashiwazaki, Niigata Pref.), 洪積世後期(Late Pleist.)

5. ナウマン象 *Elephas naumanni* MAK.: 切歯(Incisor), 静岡県佐浜
(Sahama, Shizuoka Pref.), 洪積世後期(Late pleist.),
- 6 東洋象 *Stegodon orientalis* OWCN.: 臼歯(Molar, upper
left V)
京都市伏見区深草 (Fukakusa, Kyoto City), 洪積世中期(Middle
Pleist.),
7. シガ象 *Elephas shigensis*(MAT.et OZAKI), : 臼歯(Molar,
upper right V), 大阪府河内郡狭山, 今熊 (Imakuma, Sayama,
Kawachi, Osaka Pref.), 洪積世前期(Early Pleist.),
8. シガ象 *Elephas shigensis*(MAT.et OZAKI): 臼歯(Molars),
大阪府茨木市福井 (Fukui, Ibaraki City, Osaka Pref.),
洪積世前期(Early Pleist.),

3. ナウマン象について

1881年に, NAUMANNは, それまで日本列島において発見されていた象化石を記載し, そのあるものを, FALCONERおよびCAUTLEYがインドのNarbada峡谷や Siwalik山地の象化石で, *Elephas namadicus*としたものに同定した。その後, それらおよび日本各地で発見されたそれらに類似するものについて, 多くの研究者が研究をおこない, さまざまに同定され, また命名されてきたのである。しかしながら, MAKIYAMA (1924, 1938) はそれらの検討をおこない, それらの多くは同物異名(Synonym)であるとして, *E. namadicus*の亜種, *E. namadicus naumanni*として一括して扱っている。そこでは, 松本彦七郎(1929)によって, *E. namadicus*および *E. antiquus*を含めて提唱された属名 *Palaecloxodon*は使われていない。

筆者らは, このMAKIYAMAの考えを基本的に支持するものであるが, その完模式標本である佐浜産の試料, および瀬戸内海地域や日本各地の資料について再検討をした結果, それらは *E. naumanni* MAK. として扱うことを提唱した(亀井ほか, 1967)。

ここで, *E. naumanni* Mak. の顕著な特徴を述べると, 次のようになる。

$$\text{稜式} = \frac{? \cdot 7 \cdot 12 \cdot 12 \cdot 15 \cdot 17 - 19}{? \cdot 8 \cdot 12 \cdot 12 \cdot 15 \cdot 17 - 18}$$

$$\begin{aligned} & M3(V) \text{のindex;} \\ & NL(\text{稜数}) = \frac{17(19)*}{17(18)} \end{aligned}$$

$$L \times W (\text{最大歯冠長} \times \text{最大歯冠巾}) = \frac{210(280) \times 64(92)^*}{230(270) \times 60(86)}$$

$$F(\text{稜頻度}) = \frac{5(65)^*}{5(7)} \quad L/W = \frac{3.10(3.28)^*}{3.14(2.67)}$$

$$L/NL = \frac{13-18}{14-22}$$

* 数字は正規分布の Norm 値, () 内の数字は最大変異値を示す。

これから判るように, *E. naumanni* は, *E. namadicus* とは異った形態上の形質をもっている。また, 地質時代分布は, 後者が Middle Pleistocene を主期とするのに対して, 前者は Late Pleistocene が主期であり, 地理的分布も, 日本列島, 朝鮮半島, 中国北部および東北部にかけてであり, マンモス象 (*E. primigenius*) 分布圏と一部は重なっていて, 温帯北部型のものである。このようなことは, *E. naumanni* が独立の種として扱われることを支持するものである。

4. 謝 辞

この研究を団体研究として進めるにあたって, 井尻正二博士より貴重な示唆をいただき, 化石研究会の諸氏からは, 研究の過程においてたえず有益な御教示を得た。研究上の便宜を, 東京教育大学の大森昌衛博士および地鉱教室より, また東京医科歯科大学の桐野忠大教授, 一条尚教授および解剖学教室より賜った。マイクロラジオ・組織化学については, 日本歯科大学の須賀昭一教授および同教室の諸氏に教えていただき, 討論していただいた。X線解析にあたっては, 仁田勇教授, 灰佐雅夫教授, 木崎喜雄教授, 須藤俊男教授, 小林和夫博士, 島崎吉彦博士, 富田克敏博士に一方ならぬお力添えをいただいた。アミノ酸分析については, 柴田化学工業 K K にお世話になり, 野村修治氏は分析結果の解析に協力して下さった。

以上のことを記録し, 心からの謝意を表する。

II. 組織学的研究

1. 試料と方法

A. 試 料

象牙質の組織学的研究としては, 日本海海底, 日御碕沖産のナウマン象臼歯(試料 3)をあつ

かった。エナメル質の試料としては、野尻湖底産のナウマン象臼歯(試料2)と、比較標本として現生アジア象の臼歯(I~V)(試料1)を使用した。また、セメント質の試料としては、象牙質の場合と同じく試料3と、エナメル質の場合と同じ現生アジア象の臼歯(試料1)を扱った(第1表参照)。

B. 方法

象牙質の場合、研磨切片(正中断面、水平断面、任意断面)、脱灰染色切片(EDTA-4Naで脱灰、氷結切片としてヴェンギーソン・ビクロフクシン、アザン、ヘマトキシリン-エオシンなどで染色)、脱灰超薄切片(脱灰片をオスミウム酸固定のあとエポキシ樹脂包埋で超薄切片とした)脱灰破砕標本(音波破壊による脱灰残査をPTAなどで電子染色したもの)を作製して、光学顕微鏡および電子顕微鏡によって観察した。

エナメル質については、研磨面を腐食した表面のレプリカをつくり(ミクロ、No.3、「試料作製法」参照)、電子顕微鏡により観察した。なお、エナメル質の脱灰については、現生の歯の光学顕微鏡的观察について、桐野(1958)の方法があるが、電子顕微鏡のレベルのものはまだ完成していない。未脱灰の化石の電子顕微鏡観察用切片の作製には、DOBERENZ & WYCKOFF(1967)の方法があるが、高価なダイヤモンドナイフを消耗品として使わねばならぬ欠点があり、部分的な脱灰法としてSUNDSTROM, 1966, HINRICHS et al., 1966, WARSHAWSKY et al., 1967などがあるが、いずれも化石化した歯牙への応用はまだ試験的段階である。

セメント質については、象牙質の場合と同じく、研磨面の光学顕微鏡による観察、音波破壊による脱灰残査の電子顕微鏡による観察、さらに、エナメル質の場合のように、研磨-腐食面の2段レプリカの電顕像の観察をおこなった。また、マイクロラジオおよび脱灰残査の組織化学による物質の局在性についての観察をおこなった。

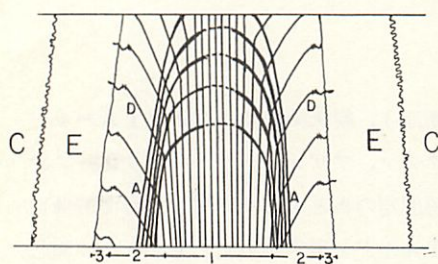
2. 観察結果

A. 象牙質 *Substantia eburnea, dentine*

(1) 象牙細管 (*Canaliculus dentalis, dentinal tube*)

研磨切面により、細管の方向性および分布の密度など、全体的な特長をとらえ、模式的に示すと第1図のようになる。

すなわち、中心部より外側へ(エナメル質に向かって)、1~3の3帯が区別できる。第1帯は、咬板の*dentine inlet*の中央部にあたり、肉眼的にはやや褐白色を帯びた部分であるが、下方から上方に向かって、まっすぐにびた細管が比較的密に配列している。第2帯は、第1帯の外側、すなわちエナメル質に近い部分で、細管が外側に折れ曲り、分布密度は第1帯にくらべて疎である。第3帯は、エナメル質に接する部分にあたり、細管は下方へ曲る傾向を見せながら、エナメル象牙境(*dentino-enamel junction*)の近くで再び上方に向かう。



E: エナメル質 (enamel)

C: セメント質 (cementum)

D: 象牙細管 (dentinal tubule)

A: アンドレーゼンの線条 (line of Andresen)

1, 2, 3 は それぞれ 1 帯, 2 帯, 3 帯を示す。

第 1 図 象牙細管の配列アンドレーゼンの線条 (簡略

化した模式図) 咬板の縦断面

The arrangement of dentinal tubules and line of Andresen (The longitudinal section of the lamella of the molar schematic figure)

各帯の厚さは、咬合面に近い部分、すなわち咬板の上半部では、第 1 帯が 2.0~3.0 mm, 第 2 帯が 0.5~1.5 mm, 第 3 帯は 0.1~0.3 mm 程度であるが、咬板の先端部付近ではこのような区分は不明瞭になる。

細管の個々の形態は、P1.I, fig. 1 に示される細管の太さは約 1.5~2.0 μ (脱灰切片では 2.0~2.5 μ である。第 3 帯では細管はいちじるしく分岐している。

細管の伸長方向に直交あるいは斜交、またエナメル象牙境に (さらにアンドレーゼンの線条とも) 平行して、長さ約 10 μ の突起様のものが認められる。とくに、その発達するのは第 2・第 3 帯の境界付近である。この「突起」は細管に連結しているようであるが、突起どうしの横への連結はみられない。

(P1.1, fig. 2)。

細管はしばしばエナメル質中にまでのびて、エナメル紡錘 (enamel spindle) を形成する。進入部分は 2.0 μ 内外である (P1.I, fig. 3)。

超薄切片の電顕像では、細管は中空の孔としてみられる。管壁はしばしば、いちじるしく電子密度の高い 1 つの壁として観察される (P1.I, fig. 4)。これらは、高倍率による観察では、大周期 (約 600~700 $\text{\AA}$) および、その間に非対線の小周期をもつ線維を主体として構成されている。

(2) 象牙線維 (dentinal fiber)

研磨切片で見られる象牙細管の像は、中空を示すものが多いが、そのうちあるものには、不透明の褐色~黒色の物質が充填しているのが観察できる。これはかならずしも細管全体にわたるものではなく、部分的に存在しているものであるが、象牙線維と同定される。

すなわち、脱灰氷結切片にして、ヴェンギーソンのピクロフクシンで染色すると、ピクリン酸で黄染する。また、超薄切片の電顕像では、細管は中空の孔として見られるが、その孔中に、まれに円形~橢円形に近い像が見られ、それは matrix と同じ電子密度をもっている。さらにその中には線維構造を示す像は見られないので、上の像は、上記のピクリン酸で黄染する物質と同一のものと考えられる。

(3) アンドレーゼンの線条 (line of ANDRESEN)

アンドレーゼンの線条にあたるものは、研磨切片の光学顕微鏡による観察でかなり明瞭に認められる (第 1 図および P1.I, fig. 1)。とくに、象牙質周辺部 (2 帯と 3 帯) にあたる部分では明瞭で、エナメル象牙境にほぼ平行に発達する。第 3 帯の部分では、この線条の方向に

そつて消光位が異っていて偏光顕微鏡下では縞状構造として見られる。この線条は第1帯では曲線をえがいて内側に折れ曲り、第1図のように、各線の間隔が比較的広く離れている(たとえば、第2帯においては間隔30 μ のものが、第1帯では200 μ になる)。

(4) 歯髄腔 (Carum pulpaе, pulp cavity) の残存とみられる“管”

咬板の水平断面の研磨切片の観察では、象牙質の中央部にあたる第1帯に、Pl. I, fig. 5に見られるような1群の孔の存在が認められる。これらの孔は散在している場合と、一列に並んでいる場合とがあるが、象牙質全体をとおして、どのように配列しているかはよくわからない。

ひとつひとつの孔は、直径約40~60 μ の円形をつくり、さらに、その内側に直径10数 μ の円形の像が見られ、この像はよく見ると管状になっていることがある(Pl. I, fig. 7)。

脱灰切片では、研磨切片で見た部位とは異なるが、1列に並んだ孔の列が認められる(Pl. I, fig. 6)。これらの孔の周辺では象牙細管はすくなくなっていて、この部分はヘマトキシリンによる染色性が他の部分にくらべて比較的弱い。これらの孔の中で、大きな孔の内側には、“管”の断面と思われる部分および膜状の物質があり、ピクロフクシンで黄染する。

以上のような観察から、一応この孔は、歯髄孔の残存としての“管”を示すものとしておく。

(5) コラーゲン線維 (Collagenous fiber)

(1)で述べたように、象牙細管の中には、線維構造をもつ物質がよく残っているのが観察された。これらは、周期性から見てコラーゲン線維と判断されるが、細管の孔の延びの方向に平行するものや、斜交または直交するものが何本かず束になっている。

また、このような線維構造をもつものが、細管のまわりに密集する場合があるが、線維構造のなかには、一般的なコラーゲン線維と思われるものよりも細い線維像を示すものがあり、どちらもしばしば周期構造をのこしている。

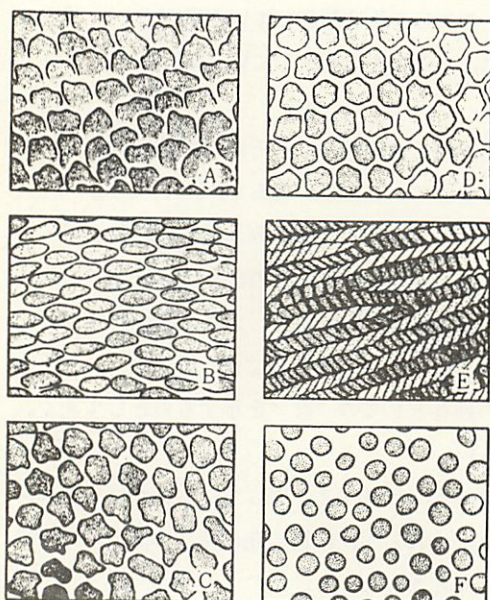
B. エナメル質 *substantia adamantina, enamel*

エナメル質は、歯を構成する硬組織の中でも、動物の分類上の位置に対応して、組織像に最もその特徴が顕著にあらわれるものといわれており、従来、多くの研究が、哺乳動物の歯についてなされて来た。なかでも、エナメル小柱の横断面の形状 (SHOBUSAWA, 1952, 第2図参照)、あるいはシュレーゲルの条紋の形態 (KAWA, 1955) 小柱の走向及び条紋の角度など (山川, 1959) について、光学顕微鏡による観察が行われている。こうしたエナメル質の動物による組織の特徴を今後も追求することは、化石の種の同定のひとつの手がかりとなるばかりでなく、系統の研究上にも大いに意義のあることであろう。

ここでは、ナウマン象とアジア象の臼歯のエナメル小柱の観察結果を記載する。

エナメル小柱 (*prisma adamantinum, enamel rod*)

ナウマン象：野尻湖底産のものは、象牙質、セメント質ともに、著しく風化をうけてもろくなっていたので、研磨の際に困難を避けるため、多くの試料片でエナメル質だけをのこして、象牙質およびセメント質を除いたので、エナメル・象牙境、セメント・エナメル境附近は充分な観察



第 2 図

いろいろな動物のエナメル小柱の横断面

A: 人, B: ウシ, C: 象, D: イヌ E: ハツカネズミ, F: イルカ (The transverse sections of the enamel rods in various mammals)

な結論を得た (Pl. II, fig. 1: KALBARA, 1968 を参照)。

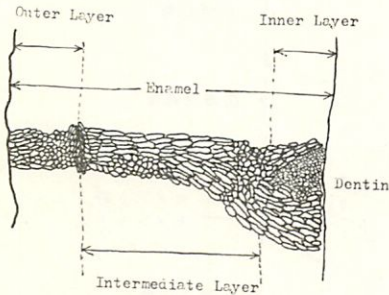
- (i) 同一の臼歯のエナメル質の中での部位による小柱の横断形の差異は少い。
- (ii) 臼歯の I ~ V の萌出順序にもとづく歯種の間での組織像の違いは、ほとんど認められない。
- (iii) エナメル質は、各臼歯とも組織像の観察から内層、中層、外層に分けられる。そのうち中層が最も厚く、安定した組織像を呈する。各層の間での組織の違いは明らかで (i) (ii) の差異を上まわる (第 3 図)。

をすることができなかった。

エナメル小柱の横断形は、アーチ形だけではなく、多角形のものが多くみられ、小柱鞘 (sheath of rod) に凹みのあるもの (pl. II, fig. 4) など、多様な形がみられたが、基本型は (pl. II, fig. 3) に示したような、多少不揃いではあるが、弧門形をした小柱の横断面で、かなり規則的に配列する。 pl. II, fig. 5.6 のように、不規則な小柱の配列も観察されたが、これは、エナメル質の表層である。エナメル小柱の直径は、測り方にもよるが、最大径 6 ~ 10 μ のものが多数を占めるようである。

エナメル小柱の縦断面では、レプリカ上にアパタイトの微結晶の配列の有様が観察された。小柱鞘に沿った小柱の内形の部分では、小柱の長軸方向に大体平行に配列するが、小柱鞘から離れるにしたがって、小柱の長軸とある角度をもつようになり、小柱間質の部分では、最大 45 度に達する。

アジア象: 2 個体のアジア象から得た 5 本の臼歯について、それぞれ、1 本の臼歯の中での部位によるエナメル組織の差異および、5 本の臼歯の相互の組織に一定の傾向が萌出順序に関連して認められるかどうかを検討した。多くの、電子顕微鏡下および写真撮影による観察の結果、次のよう



第3図 エナメル質の3層 (Three layers of enamel)

中層: Inner Layer, 中層:

Intermediate Layer,

外層: outer Layer, (光学顕微鏡下でアジア象の臼歯の研磨標本をスケッチしたもの)

(Ⅳ) したがって、臼歯の種類に拘らず、エナメル小柱の横断形による種の特徴の比較検討には、上述の3層のうち中層を代表とするのが最も良いと思われる。

(Ⅴ) エナメル質をつくっているアパタイトの微結晶の配列状態が、小柱の縦断面で観察され、小柱の長軸に平行なものから、長軸に40度以上の角度をもって配列するものが観察された。

C. セメント質 (cementum, cementum)

a. 顕微鏡による観察

臼歯のセメント質は各咬板の間を完全に満たしている。しかし、この標本は最速心側の咬板が裸出するほど、崩出がすすみ、咬頭面はかなり磨耗し、歯冠の表面のセメント質がすでに消失している。また、歯根部のセメント質は肉眼的にはみとめられなかった。

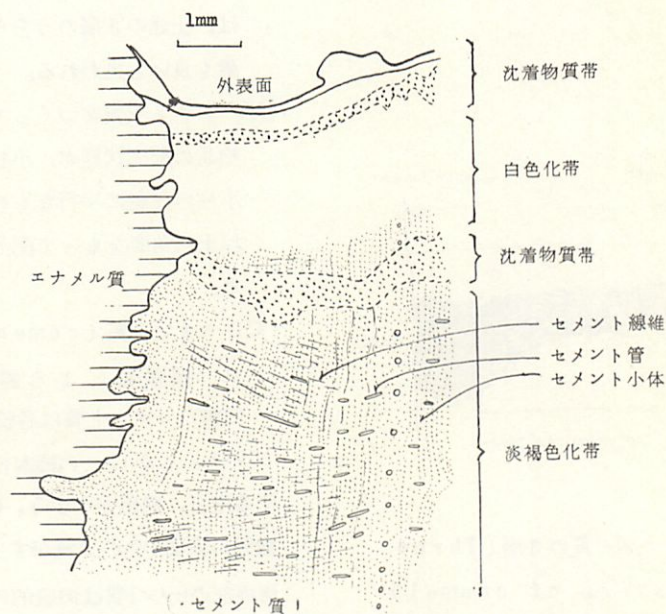
ナウマン象の咬板間のセメント質は厚さ3mmでいどのエナメル質に接している。ところが、アジア象の臼歯ではエナメル質の厚さが、各咬板の基部へいくほど薄くなり、エナメル質が末端部では完全に消失している咬板もあって、セメント質が象牙質に接するようになる。

咬板間の歯冠セメントは、光学顕微鏡で充分に観察できる本来の組織構造を残している。セメント質の色調は、インド象の淡黄色に比べて、やや褐色味を増している。

この標本の表面は黒色の物質でおおわれていて、セメント質の裸出部もおなじ状態になっている。この付近の組織構造は、光学顕微鏡下で本来のセメント質の組織構造を残していない。この状態は最表層部から深部にかけてつぎのように移りかわる。沈着物質帯—白色化帯—沈着物質帯—淡褐色化帯となるが、場所によっては、沈着物質帯—白色化帯—濃褐色化帯—淡褐色化帯に区分される(第4図)。

沈着物は黒色ないし赤色の顆粒状物質で、表面付近に局在するばかりか、咬板間深部のセメント質にまで点在している (Pl. II, fig. 10) これらはセメント小体の空隙を占めたり、割れ目に沿って入り込んだりしている。白色化帯は濃・淡褐色化帯にくらべて、光学顕微鏡下でまったく無構造で、変質の結果として生じたものと考えられる。

第4図 セメント質の模式横断面 (The ideal transverse section of the cementum)



reagent	texture	tubule	lamellar structure	inter lamellar st.	fiber
microradio.					
H.-E.	baso.				
	acid.				
Van-G.	aci.F.				
	pick.				
PROTEIN	ninh.				
	Hg-BPE				
POLYSA.	PAS				
	al.bl.				
LIPID	S.b.B.				
	S.III	?			?

第5図 セメント質のマイクロラジオグラムによる石灰化度と脱灰基質の組織化学的反応

(The microradiographical reaction of mineralized cementum and the histochemical reaction of decalcified cementum)

ナウマン象臼歯の歯冠セメントは、セメント管（血管）、セメント小体、層板構造、セメント線維を備えている（Pl.Ⅲ, figs. 1, 2; 第4図）。

(1) セメント管：(cementum tubule)

直径20μm程度の円形の横断面をもつ管がセメント質の内部全域にわたって走行している。これらは「成長線」ないし層板構造に直交し、小区域内ではたがいにはほぼおなじ方向へ走り、また各咬板間のセメント質の中央部では、ほぼ咬板の垂直方向に平行した走向にのびる傾向をしめす。セメント管は、骨のハバース氏管のように、円形層板構造の中央部を占めることもある。これは形態的にみて、アジア象の臼歯の報告にある血管に相当すると考えられる。

(2) セメント体：(cementum corpuscle)

セメント質の全域にわたって存在し、直径5〜7μmほどの円形ないし不規則な形の構造をみとめるが、これらはセメント小体と考えられる。小体はエナメル質に近い部分では散在しているが、「生長線」のみとめられる部分では、層状に配列したり同心円状に配列したりして、層板構造をなしている。この小体の断面の電子顕微鏡像は円形をしめし（Pl.Ⅳ, figs. 1, 2）、細胞突起はみだされなかった。光学顕微鏡の薄片観察によっても、人の歯のセメント質にみるような細胞突起をこの標本のセメント小体で確認できなかった。

(3) セメントせんい：(cementum fiber)

薄片では黒い細条としてみられ、一見すりきずのような像をしめす。これらは層板構造に直交し、セメント管にほぼ並走していることから、組織の構造であると考えられる。この細条は石灰化像、染色像の結果から判断して、コラーゲン線維束からなるということに着目すれば、シャープビー線維(sherpuys fiber)と類似のものとみなされる。

(4) 層板構造：(lemellar structure)

エナメル質に近い部分では波紋状の半同心円層板構造、中央部では波状、同心円形ないし楕円形の層板構造からなる。このような層板構造をみとめがたい部位もある（Pl.Ⅲ, fig. 2）。

(5) セメント・エナメル境：(cementum-enamel junction) (Pl.Ⅲ, fig. 7)

咬板間の歯冠セメントは、全域にわたってエナメル質をおおっていて、その境界部は相互に入り込み、平坦面で境されていない。これはセメント質の沈着のさいに、エナメル質の吸収がこの表面で生じるためといわれている。セメント質がエナメル質に凹入した部分にもセメント小体を備えている。

b. 石灰化像(Pl.Ⅲ, fig. 3)

セメント管、セメント小体、セメント線維の部位はX線の透明部位であり、前者は染色による薄片の観察に合わせ考えると、空隙になっていると考えられる。これに対して、セメント線維の部位は染色切片から判断して、コラーゲン線維束が破損・分解されずに残っているものとみられ、石灰化が弱い、ほとんどなされていないものと考えられる。これらの他の部位は、いろいろなことでX線の透明度をこととしている。なかでも層板構造の部位は、X線の密度のやや高い層と低い層とが交互に配列している。とくに小体の周辺部で、X線の密度が増加す

るという例もなかったのにくらべて、セメント管の周辺がX線の密度の大きい物質でとりまかれていることもある。

c. 有機基質の構造と組織化学 (第5図)

組織片の脱灰後、有機基質は形を保ったまま残存した。これは各種の染色剤に好染し、その構造をかなりよく現出させた。

H.-E. 染色： 基質は全体に淡い赤紫色に染まり、その中に線維状ないし顆粒状に、好エオシン性の物質が散在している。基質の中の各所にみられる空隙は、セメント小体、セメント管によるものと考えられる。セメント管による空隙の周辺の基質は、その他の基質とはことなり、やや好塩基性の染色性をしめた。

ヴェンギーソン染色 (Pl. III, fig. 4)： 有機基質は酸性フクシンに染まり、とくにセメント線維の部位は濃染している。コラーゲン線維が一般にこの染色法で酸性フクシンに染まることから、基質およびセメント線維はコラーゲン線維を多量にふくむものと考えられる。このことは電子顕微鏡観察によっても確かめられた。

つぎに、同一組織片からの切片で若干の組織化学的反応をこころみた結果をのべる (第5図)。第一に、脱灰残渣の有機基質は蛋白質、脂肪、酸性粘液多糖類、中性粘液多糖類をふくむことがわかった。これらの物質は象の死時にその白歯を構成していたものと考えられる。第二に、物質の局在性についてみると、セメント管およびセメント小体の部位は、いずれの反応も認められない。セメント管の周囲の基質は、その他の基質と反応の強さの点でいくらかことなるといえる。セメント線維の反応はコラーゲン線維の反応と考えて矛盾しない。

d. コラーゲン線維 (collagenous fibre) コラーゲン性有機基質とコラーゲン束からなるセメント線維の存在が、ヴェンギーソン染色およびタンパク質・PAS反応などの結果から示された。このことは脱灰組織所の電子顕微鏡による観察の結果からも、コラーゲンに特有の構造をもつ線維の確認によって、あきらかである (Pl. III, fig. 5)。せんいは640~600 Åの大周期と、その間に5~6の横紋をしめし、単離したもの、列をなして並ぶものや束をなしているものなどがある。

アジア象のセメント質のコラーゲンに比べて、この標本のセメント質のコラーゲン線維は、輪郭がぼやけたり、周期性がはっきりしないものも多い (Pl. III, fig. 5, 6)。アジア象のセメント質のレプリカ像 (EDTA腐食) は、コラーゲン線維がさく走している状態をあきらかにしめているのに、ナウマン象のセメント質の像は同じ腐食条件のときに、コラーゲン線維をしめさない (Pl. IV, figs. 1, 2)。

3. 考 察

ナウマン象の白歯をつくる象牙質、エナメル質、セメント質について観察したところを記載した。しかし、局所的な記載にとどめたところもすくなくなく、組織学的研究としてはきわめて初歩的な段階のものである。また、歯の部位による比較、現生および化石の他の種のものとの比較もほと

んどふれることをしなかった。このようなわけで、多くのことを言うべき段階ではないが、若干の問題点をあきらかにして今後の研究の参考としたい。

A. 象牙質

- (1) 象牙細管の“突起”状の管は、観察が十分とはいえないが、Pl. 1, fig. 2 にしめされるように写真画面に直交する方向、すなわち歯の頬舌方向にも、短い管状物の存在が推定される。しかし、これは薄片製作時の人工的混入物という可能性もあり、正確な形態についてもはっきりしたことはいえない。
- (2) 細管壁をつくる線維状物質は田熊(19)によって指摘されたものと同じであるかも知れない。この線維および基質の線維は、分離して電顕像、染色性、アミノ酸分析、X線回折像によってコラーゲン線維の性質を残していることを確かめた。その詳細については別報する。
- (3) 象牙細管中の充填物およびピクロフクシンで黄染する物質は、象牙線維の残存物である。IJIRL & FUJIWARA(1958)は、レプリカによる電顕像、H.-E. 染色切片、研磨切片の観察から、マンモス象、ナウマン象の歯牙の象牙質に象牙線維がのこされていることを、すでに確認している。今回の観察結果も、それと同様の結果であった。
- (4) 歯髄腔の残存と見られる“管”は、研磨切片と脱灰切片によって観察したが、後者は前者よりも歯根に近い部位である。両者を比較してみると、孔の分布の状態も、孔の周辺における象牙細管の分布様式も、たがいに異っている。このことは、試料の処理方法や部位のちがいに由来のものではなく、本質的なちがいと思われ、歯髄腔から管状物がのびていて、それが部位によって、分布や象牙細管との関係において、状態がちがうことは十分に考えられる。とくに、孔の内部の膜状物は、染色性から見ても他の有機基質とは異っていて、今後のくわしく検討が必要である。
- (5) 有機基質の残存の形態については、脱灰超薄切片によって観察されたが、これについては、佐藤ら(1967)によって予察的な報告がされている。また、この問題についてはR. W. G. WYCKOFF らによる研究がいくつかある(SHACKLEFORD & WYCKOFF 1964)。また、化石中に見られるコラーゲン線維の微細な周期構造については、各組織間、保存条件のちがったものの間、および異種間の関係について比較検討を進めている。

B. エナメル質

ナウマン象を含めた長鼻目の臼歯のエナメル質について、筆者と同様の方法を用いて作製した、研磨・腐食面のレプリカを、光学顕微鏡で、比較検討した報告がある(吉田康子, 1967)。これによると、古い象すなわち *Stegodon elephantoides* および *Stegodon Sugihamai* ではエナメル小柱の横断形は四角形に近く、シュレーゲルの条紋(Bands of schreger) は比較的規則性があるが、一方、*Elephas shigensis*, *Elephas naumanni* では、小柱の横断形は不正多角形から、ヒトに似た弧門形を呈するようになり、シュレーゲルの条紋の不規則性が増す。また小柱の直径は時代が新しくなるとともに減少して、*Stegodon* の $5.2 \sim 6.1 \mu$ に対し、*Elephas shigensis* $4.8 \sim 6.0 \mu$,

E. naumanni 3.0~4.0 μ となる(ただしアジア象では5.5~6.0 μ)等々の興味ある事実の観察がなされ、こうした、エナメル小柱の形態及び、シュレーゲルの条紋の状況からすると、雑食性あるいは、食肉性の哺乳動物に見られるものに類似した特徴から、草食性のそれに似てくる傾向であると考えることができる。

今回の電子顕微鏡による観察の結果を、上の光学顕微鏡による観察結果を参考にしながら考察すると、次のように結論できよう。

- (1) 小柱の横断形は、ナウマン象とアジア象とでは、かなり異っており、アジア象は、多様な横断形をもつが、その中でも、典型的なアーチ型の断面を呈することが最も多い(P1. II, fig. 1)のに対し、ナウマン象は、四角形、不正多角形あるいは小柱鞘に切れ込みをもつようなものもある(P1. II, figs. 3~6)。
- (2) また小柱の径は、光学顕微鏡による観察とは一致しないが、ナウマン象では6~10 μ であるのに対して、アジア象とマンモス象では明らかに直径が小さくて、5~7 μ 程度であり、8 μ をこえるものはほとんど見られなかった(P1. II, figs. 1, 2)。
- (3) 小柱の配列の状態は、電子顕微鏡下ではあまり広範囲に観察できないが、ナウマン象に比べて、アジア象、マンモス象では、より規則的になっている傾向があり、光学顕微鏡による観察結果とも一致するようである。
- (4) 小柱の縦断面でみられるアパタイトの微結晶の配列の状態は、ナウマン象、アジア象の間に差異は認められなかったが、結晶粒の大きさをレプリカ上で推測あるいは、コンタミネーションとなって附着したものを観察したかぎりでは、ナウマン象のものが、やや大きいようで、この違いが、化石化作用の影響によるものか、種による特徴を示すものかは、さらに比較検討を必要とする。
- (5) また、この結晶粒の大きさの他に、有機質の減少の結果とも関係するが、酸による腐食に対する、エナメル質の研磨された表面の凸凹の出来具合が、化石と現生のもとでは異なるように見受けられる(P1. II, fig. 1 と figs. 2~6 を比較対照)。

以上、多くの未解決の問題を残しながらも、今後ナウマン象を中心に、化石、現生の多くの長鼻目のエナメル質の組織を比較検討して行きたい。

C. セメント質

- (1) セメントの分布：村木(1958)によると、アジア象の臼歯には歯冠表面と咬板間を埋める歯冠セメントと、歯根部にある歯根セメントの2種類のセメント質があるとされている、しかし、今回、扱ったナウマン象の試料は、これに比較すると、歯冠セメント(充填セメント)しか残存していない。したがって、ここで述べたセメント質は歯冠セメントを指すもので、ナウマン象の臼歯の歯根セメントについては、今後の検討にまつものである。
- (2) 保存条件について：海底に長時間あったと思われる今回の試料には、表面および内部に黒色・赤色の顆粒が散在していた。この物質の生成機構および同定については、検討中である。
- (3) セメント線維：セメント質の組織は、血管、セメント細胞、層板構造、コラーゲン基質など

の要素をもち、骨の組織に比較できる。

とくに、セメント線維については、村木(1958)はふれていないが、今回の電顕像による観察と組織化学による考察から、これがコラーゲン線維束からできているものであることはまちがいない。それならば、骨組織にもあり、歯を歯槽に結合するための構造をつくるシャービーの線維とそれがどのような関係にあるかは、一生歯性の *Elephas* のセメント質の組織として、きわめて興味ある問題である。

Ⅱ。古生化学的研究

1. 試料と方法

脊椎動物の歯を構成している有機物質の主体は、コラーゲンとよばれる線維状タンパク質である。コラーゲンは、アミノ酸組成からみて、最も簡単なアミノ酸であるグリシン、環状でNH基をもつプロリン、ヒドロキシプロリンがおおく含まれるという特徴をもっており、とくに、ヒドロキシプロリンはヒドロキシリジンとともに、コラーゲン特有のアミノ酸であるといわれている。

ナウマン象歯牙からもコラーゲンを特徴づけるグリシン・ヒドロキシプロリン・プロリンが比較的多量に検出され、コラーゲンの存在が示されている(象団研グループ, 1966)。

この章では、ナウマン象、シガ象、ステゴドン象などの化石象と現生アジア象の歯牙について、タンパク質定量とアミノ酸分析の結果、および、日御碕沖産ナウマン象臼歯からのコラーゲン抽出とそのアミノ酸組成の結果を報告する。

窒素定量およびアミノ酸分析に用いた試料は第1表に示してある。歯牙標本の象牙質・エナメル質・セメント質の分画は、肉眼で機械的に分別した。

この研究のためにおこなったアミノ酸分析は、ペーパクロマトグラフ法(藤原・井尻, 1959; 秋山, 1964)により、また、窒素定量はマイクロケルダール法(田崎, 1967)を用いた。

2. 結果と考察

A. 現生アジア象の臼歯のアミノ酸組成

アジア象とナウマン象などの化石象の歯牙から検出されたアミノ酸の総量を第2表に、窒素定量の結果を第3表に示す。

アジア象の臼歯はすべて遺体として採集され、のちにアルコールにより固定された標本である。また、アジア象の個体発生別の標本は同じ個体の臼歯ではない。したがって、保存状態は異なるものと考えなければならない。

アジア象の臼歯の象牙質から検出されたアミノ酸の組成(第6図)は、グリシン・プロリン・ヒドロキシプロリンが比較的大きく、コラーゲンの存在を示しているといえる。アジア象のエ

第2表 ナウマン象歯牙のアミノ酸分析結果 (Amino acid contents in teeth of *elephas naumanni* Mak)

試料番号 (第1表)	部位	全量	Gly	$\mu\text{Mol}/100\text{mg}$ Hypyo	pro	保 存 状 態
2	d	59.1	14.3	6.6	7.4	白歯(セメント, エナメル, 象牙質) 歯の表面はかなり風化している。Fe・Mn質の付着物おおい。内部はかなり保存よし
	e	37.3	0.31	0.62	1.13	
	c	57.0	1.52	1.2	1.68	
3	d	152.6	41.2	27.2	22.4	保存良好
	e	12.7	0.25	0.30	0.20	
	c	145.7	42.7	7.62	11.0	
3 (Incisor)	d	48.9	5.47	11.6	3.97	左歯の歯根部(象牙質) 淡乳白色に風化する。
5 (Incisor)	d	±	+	—	—	右歯の先端部(象牙質) 淡褐色に風化する。
8	d	21.1	0.68	0.33	0.63	風化著しい。淡灰色を呈する。
6	d	—	—	—	—	
	e	0.95	0.18	0.35	—	
1(M ₂)	d	98.1	19.2	11.2	15.0	
	e	24.8	6.4	5.5	3.8	

* d: dantine, e: enamel, c: cementum

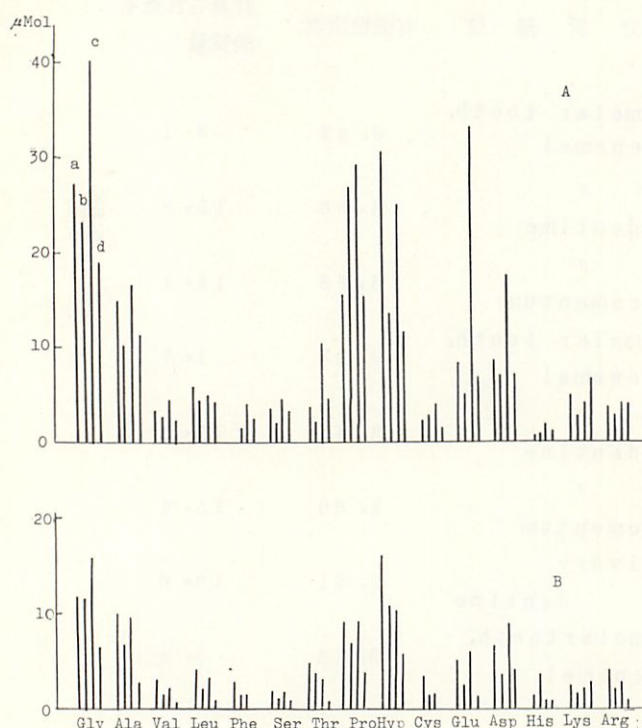
ナメル質から検出されたアミノ酸の組成は、アミノ酸総量において象牙質よりすくないが、象牙質のアミノ酸組成と比較的類似している。ことに、ハイドロキシプロリンはすべてのエナメル質標本から検出され、ナウマン象やステゴドン象のばあいにも同様の結果がえられている。このことは、成熟した象の白歯のエナメル質にコラーゲン様タンパク質が存在する可能性を示しているかもしれない。ただ、エナメル質とセメント質の境界が、顕微鏡観察において、でこぼこしてい

種 類	産 地	分 析 部 位	有機性窒素	計算された有機質量
Elepdras maximus	India	molar tooth, enamel	0.42	3.1
		"		
		dentine	3.63	19.8
		"		
		cementum	3.33	18.1
E. nauma-nni	off Hinomisaki, shiman pref.	molar tooth, enamel	0.23	1.7
		"		
		dentine	2.45	13.3
		"		
		cmentum	2.80	15.2
		ivory		
		dentine	2.51	13.6
E, nauma-nni	Lake Nojiri, Nagano pref.	molar tooth, enamel	0.52	3.8
		"		
		dentine	1.05	5.7
E, nauma-nni	sahama, shizuoka pref	ivory, dentine	0.24	1.3
E, shige-sis	lmakuma, sayama, osaka pref.	molar tooth dentine	0.13	0.71

第3表 現生および化石象の歯牙中の有機窒素量(organic nitrogen contents of the recent and fossil elephant teeth by micro-kjeldahl method)

ることを考えると、セメント質成分の混入している可能性もあり、また、本来エナメル質ではエナメル紡鐘のように象牙質成分の侵入がある(荒谷, 1964)ために、この結果をえたのかも知れない。

アジア象の象牙質・エナメル質とも、アミノ酸総量は標本別に差異を示す。とくに、 M_1 の標本から検出されたアミノ酸総量は、他の標本に比しておおく、象牙質のばあいには顕著にこの傾向がみられる。個別的には、 M_4 (Ⅳ) 標本の象牙質からグルタミン酸・アスパラギン酸(酸性アミノ酸)とグリシンが、他の標本よりおおく検出されている。



第6図 アジア象の臼歯から検出されたアミノ酸の組成
(Amino acids in the molar of *elephas maximus*)

A: 象牙質, B: エナメル質, a: P_2 (I) の標本,
b: P_3 (II) の標本, c: M_1 (IV) の標本, d: M_2 (V) の
標本, 横軸はアミノ酸組成, 縦軸はアミノ酸検出量 μMol

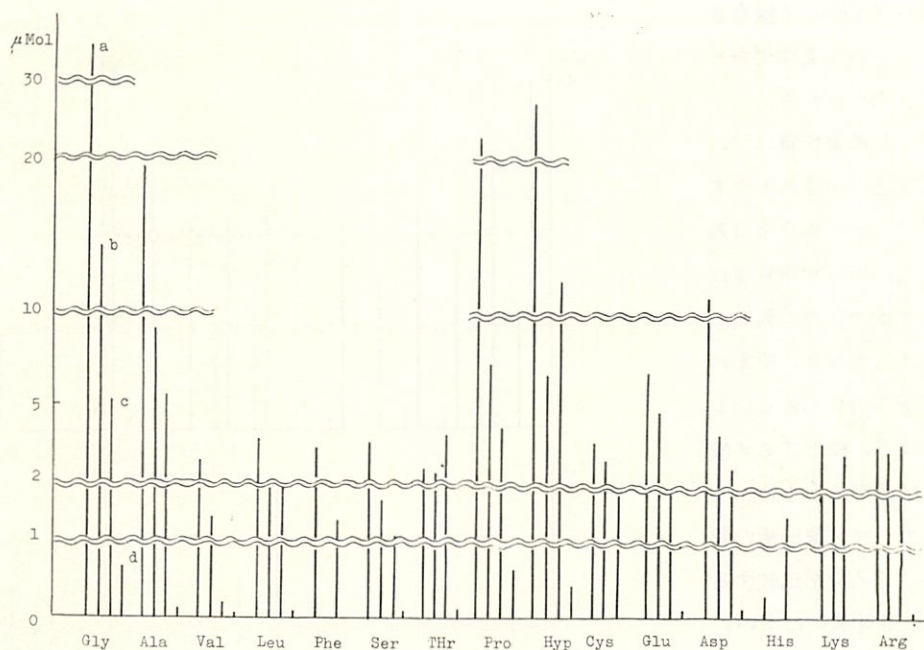
おおいのに比して、浜松産ナウマン象の左牙(象牙質)はグリシンが検出されるのみであり、ステゴドン象の臼歯(象牙質)ではアミノ酸が検出できない。このようなアミノ酸保有の傾向は、窒素定量の結果からも支持される(第4表)。

一方、ステゴドン象の臼歯のエナメル質からは、アミノ酸が検出され、その総量は日御碕産

M_1 のエナメル質にも類似した傾向がみられる。標本別にアミノ酸総量が異なることから、死後の保存状態や保存期間がアミノ酸総量を規定しているものと考えられるが、 M_1 標本にみられるこれらの傾向は、 M_1 が乳歯から永久歯に移った時期に相当することを考慮すると、個体発生の面から意味があるのかもしれない。B, ナウマン象臼歯のアミノ酸組成(第7, 8図)

第1表に示されている産地のナウマン象、シガ象、ステゴドン象の臼歯の象牙質、エナメル質、セメント質について、検出されたアミノ酸総量を比較すると、とり扱った標本別にかなり差異がみられる。日御碕沖産ナウマン象臼歯の象牙質は最もアミノ酸検出量がおおく、また、野尻湖産ナウマン象の臼歯(象牙質)、日御碕沖産ナウマン象の左(象牙質)のアミノ酸検出量が

* 日御碕沖産ナウマン象とステゴドン象は、エナメル質分別をおこなう際、エナメル質の表面を充分削りとして中心部の分析をした。



第 7 図 ナウマン象の歯牙(象牙質)からの検出されたアミノ酸の組成
 (Amino acids in dentinal tissue of *Elephas naumanni*)
 a : 日御碕沖産ナウマン象, b : 野尻湖産ナウマン象, c : 日御碕沖産象
 (牙) a : 大阪シガ象

ナウマン象のそれと比較すると、象牙質のばあいと異なり、あまり大きな差異が認められない。このように化石象から検出されたアミノ酸量の差異は、エナメル質より象牙質に著じるしい。

ナウマン象の臼歯のセメント質は、野尻湖および日御碕沖産の標本で大きなアミノ酸の量的差異が示され、その差異は象牙質より顕著である。しかし、分析標本がすくないので、臼歯の象牙質の保存についての一般的傾向であるとは断言できない。

このような歯牙の象牙質、エナメル質、セメント質それぞれの標本別にみられるアミノ酸の量的差異は、各部分の石灰化度および構成タンパク質の溶解性と関連している可能性がある。アジア象の臼歯で、象牙質はエナメル質よりアミノ酸総量がおおく、象牙質の石灰化度がエナメル質より低い。また、ヒトの骨および歯のばあい、構成タンパク質の可溶化実験(水とともに加熱)では骨で最も可溶化され、象牙質でも可溶化されるが、エナメル質のばあい可溶化されない。アジア象の試料においても同様の結果がえられる*。このことから、エナメル質は象牙質・セメント質より石灰化度が高く、構成タンパク質が可溶化されにくいということが、構成タンパク質を地

* タンパク質検出はビウレット反応によった。

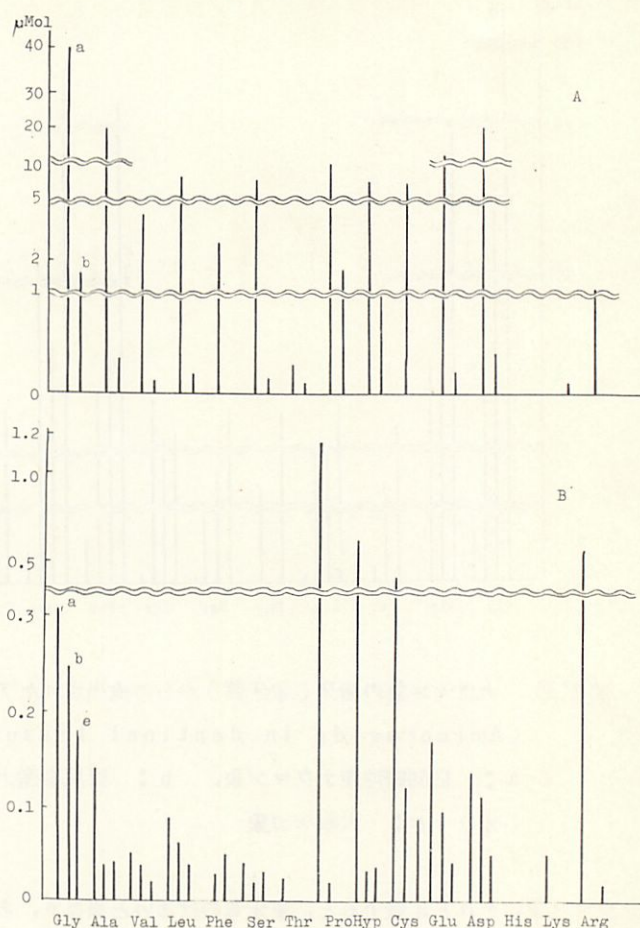
質時代を通して保存させるという条件であろうと考えられる。

さらに象牙質について顕著に示される標本別のアミノ酸総量の差異は、肉眼で識別される標本の保存の程度と関連しており、標本の変質がいちぢるしいものほど、検出アミノ酸の総量がすくない。

ナウマン象臼歯の個別アミノ酸を比較すると、象牙質のばあい、アミノ酸総量は異っても、そのアミノ酸組成は比較的類似している。ただ、アミノ酸がおおく検出される象牙質標本では、ハイドロキシプロリンがプロリンよりおおく検出される傾向が認められる。ナウマン

象の牙(象牙質)は、臼歯の象牙質と比較して、ややグリシンの検出量がすくなく、ハイドロキシプロリンの検出量が比較的おおい。ナウマン象の臼歯のエナメル質は象牙質のばあいと比較し、極性ア

ミノ酸であるグルタミン酸、アスパラギン酸およびシスチンがおおく検出され、また、ハイドロキシプロリンも検出される。



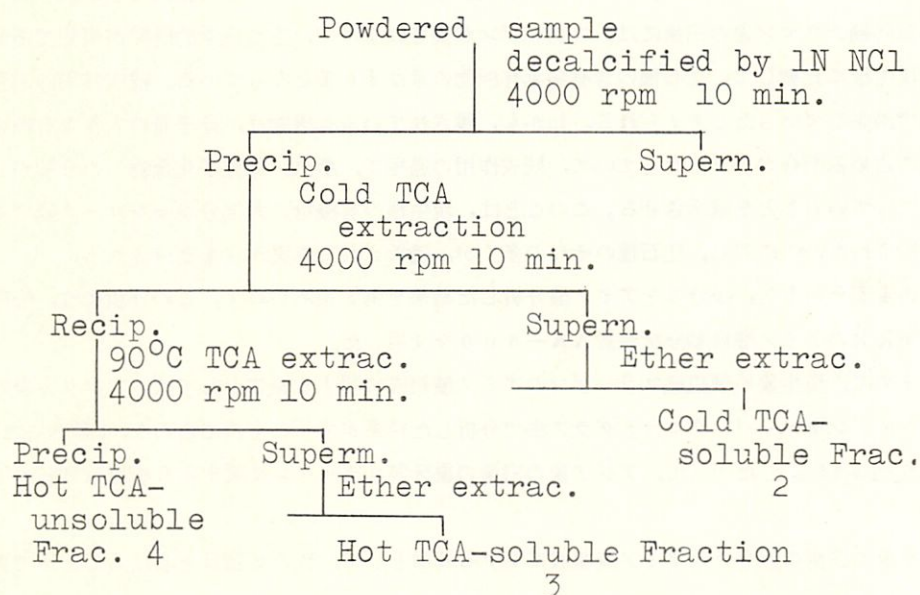
第 8 図 ナウマン象の臼歯(セメント質, エナメル質)から
検出されたアミノ酸の組成 (Amino acids in
enamel and cementum of the molar *Elephas
naumanni*)

A: セメント質, B: エナメル質, a: 日御碕沖産ナウマン象, b: 野
尻湖産ナウマン象, c: ステゴドン象

ナウマン象のセメント質は標本別にアミノ酸総量の差異が大きいが、比較的象牙質のアミノ酸組成と類似している。

C, ナウマン象臼歯の象牙質コラーゲン

日御碕沖産のナウマン象の臼歯に保存されているコラーゲンの量を検討するために、Fitch et al, (1955) の方法にしたがって、0.3 M熱TCA水溶液をつかって抽出をおこなった(第9図)。その際に、分画された4画分をマイクロ・ケルダール法によって分析した。コラーゲンの窒素量を18.4%として、タンパク質量を算出した(第4表)。この4つの画分のうち、画分3(熱TCA可溶性画分)がコラーゲンにあたる。画分4は複合タンパク質であるが、画分3の抽出が不完全であれば、コラーゲンの一部がこの画分にはいつてくる可能性もある。



第9図 化石有機物の分画法 (Fractionation method of fossil organic matters in the calcified tissues by 0.3 M trichloroacetic acid solution)

	分 画 1	分 画 2	分 画 3	分 画 4	全 量
Elephas maximus	0.36%	0.33	16.3	6.8	23.79
E. naumanni	1.20	0.18	3.4	0.0	4.78

第4表 ミクロ・ケルダール 法による現生および化石象の臼歯中の象牙質にみられるタンパク質含有量(計算値)(Calculated protein content in the molar tooth dentine of recent and fossil elephants by micro-Kjeldahl method)

第4表で、日御碕ナウマン象の臼歯の象牙質タンパク質を現生アジア象のそれと比較すると、画分1が多く、逆に、画分4は全く存在しない。また、画分3のコラーゲンは、現生種に比べて21%を占めているにすぎない。このような事実から、つぎの2つのことを指摘できる。

- Ⅰ) 日御碕ナウマン象の臼歯には、コラーゲンが残されていて、古生化学的研究が可能である。
- Ⅱ) 現生種と比較して、化石種の含有窒素有機物の量は20%となっている。続成作用の過程で消失していったと考えられる。しかも、残されている有機物は、分子量の大きな有機物の占める割合が少なくなっていて、続成作用の過程で、漸次、低分子化合物への分解がおこっていることを暗示させる。このことは、現生種の有機物の大部分がセルロース膜で透析されないのに対し、化石種のその多くが、透析される事実からも支持される。

前述の4画分のうち、画分3をアミノ酸分析した結果を第5表に示す。この分析には、柴田化学工業kのアミノ酸自動分析装置AA-600を使用した。

これまでに、現生象の硬組織コラーゲンのアミノ酸組成に関する報告としては、アフリカ象の象牙コラーゲンをペーパークロマトグラフ法で分析した結果が唯一のものであろう。(FISHER & BOHN, 1955)。したがって、アジア象の臼歯の象牙質コラーゲンに関する分析値は知られていない。

アジア象の臼歯の画分3のアミノ酸組成に関する特徴として、次の2項目をあげることができる。

- Ⅰ) グリシン・プロリン・ヒドロキシプロリンが多く、シスチン・トリプトファンがない。さらに、少量のヒドロキシリジンが存在する。アミノ酸組成の上から、画分3は明らかにコラーゲンであると結論できる。
- Ⅱ) ヒト・ウシの歯の象牙質コラーゲンと比較すると、ヒドロキシプロリン・プロリンが著

しく多く、グリシン・リジン・ハイドロキシリジンが少ない。また、メチオニン・チロシンが検出されていない。メチオニンは加水分解中に酸化され、メチオニンスルフォキシドに変化している。

アミノ酸	Elephs maximus		E. naumanni	
	μM g	アミノ酸 1000 残基	μM g	アミノ酸 1000 残基
Hypro	231.6	153	53.9	151
Asp	79.8	53	16.1	45
Thr	28.7	19	6.5	18
Ser	66.2	44	13.8	39
Glu	124.2	82	27.6	77
Pro	184.3	123	40.7	113
Gly	416.5	275	110.9	311
Ala	162.7	107	37.5	105
Val	35.8	24	7.3	20
Met	0.0	0	0.0	0.
Ileu	14.9	9.8	3.3	9.2
Leu	38.8	26	8.3	23
Tyr	0.0	0	0.2	0.4
Phe	20.8	14	4.8	14
Hylys	9.7	6.3	2.6	7.3
Lys	21.5	14	7.6	21
His	5.7	3.7	0.7	2.0
Arg	74.1	49	15.1	42
全量 $\mu\text{M/g}$	1515.3		356.9	

第5表 現生および化石象の臼歯象牙質中のコラーゲンのアミノ酸組成 (Amino acid composition of collagen in the molar tooth dentine of recent and fossil elephants)

ナウマン象の臼歯の象牙コラーゲンは、アジア象のそれに比べると、きわめて類似したアミノ酸組成を示しているが、次のような差異を認めることができる。

i) グリシン・リジンの含有量が多い。

ii) プロリン・アスパラギン酸・セリン・バリン・アルギニン含有量が少ない。

とくに、グリシンの含有量に大きな差異がみられる。HO(1965)は洪積世のウマとネコの歯のタンパク質を分析し、ウシの現生種のそれに比べて、グリシンの含有量が多いことを指摘している。HOの分析したタンパク質はセルロース膜による透析で、不透析画分の全分析であるため、コラーゲン以外のタンパク質も分析値に含められている。HOは化石タンパク質のこのような特徴をグリシンの安定性に帰しているが、再検討の余地があると考えられる。

現生種と化石種の象牙質コラーゲンのアミノ酸組成上の差異は、(1) 種のちがいによる、(2) 続成過程でうけた変化である、または、(3) その2つの原因の合成せである、といった可能性が考えられる。もし、その差異が(1)の理由によるものであれば、その差異から直接に、分子レベルでの進化を検討することができる。しかし、その理由が(3)であるとすれば、(2)の内容を明らかにして、それをもとに、本来のナウマン象のコラーゲンを復元しなければならない。

IV. X線回折による研究

1. 試料と方法

歯の組織を結晶学的に研究するには、写真法(FUNAKA, 1926-27; 鈴木, 1938), 脱灰試料の回折写真, マイクロカメラ法(仁田, 灰佐ら), Diffractometerによる方法(佐藤他, 1957)などがある。これまで、これらの方法によって、化石歯牙の研究をおこなってきた過程で、多くの問題点がだされている。すなわち;

i) 歯の組織をつくっているコラーゲン線維とアパタイトの結晶のC軸とは、たがいにほぼ平行である。

ii) アパタイトの結晶の単位胞、ことにa軸については、大きな変化がある。

iii) 時代、種類を異にする化石試料について、回折強度、半価巾もちがうので、それぞれ結晶度(結晶の大きさ、不規則性、非晶質部分の存在などを含む)に差がある。またこのことは、エナメル質と象牙質で非常に差があり、化石の保存条件によってその差はさらにいちじるしくなるらしい。

歯の結晶学的研究の中心課題は、生理学的な問題であり、結晶が代謝過程によってつくられるものであり、この事を抜きにして試験管内で無機的につくられる結晶とのアナロジーとして扱われるものではない。この課題にとりくむ場合、X線回折による研究がほとんどのばあいにとりあげられている(CARLSTRÖM & FINEAN, 1954; HIRAI, 1959)。

このような観点で、ナウマン象を中心に日本の化石象の試料をあつかい、その歯牙組成を構成す

る物質を、X線回折装置をつかって研究した結果を述べる。

試料：は第1表のものをを用いた。S：エナメル質，D：象牙質，Z：セメント質（一部）にわけ
て実験試料とした。

方法：理学電機ガイガーフレックスを用いて、粉末試料の回折線を記録させた。計数はGM管使
用，X線管球はCu 対陰極とFe 対陰極を使用，電圧・電流・スリット系はほぼ一定（Cu：35kv
15mA—多少変化，Fe：30kv8mA， $l^0=0.15\text{mm}$ または $0.3\text{mm}-1^0$ ）回転速度は大体 $1/8^0$
/sec とした。記録装置のTime const. はなるべく小さくとり，Full scale は，な
るべく小さくとした。回折強度が一般に弱いためにFull scale は200～100となること
が多く，針のふれが大きく，それに加えて，ピークの分離が悪いので，チャートはかなりよみにく
いが， 2θ の位置は，相当正確に読みとることができる（ 0.01^0 ）。ただし， $K\alpha_2$ は一般に分離でき
ない。

その結果から次の測定をおこなう。

a, Bragg間隔と強度（相対）の測定とCell dimensionの計算

b, 半価巾の測定

c, a_0 の計算からアパタイトの種類の推定と考察

2. 結果と考察

化石および現生の象の歯牙組織をつくっている結晶のX線回折図形は，まぎれもないアパタイト
である。多くの問題をはらんでいるが，ひどくピークの分離の悪い現生の象の若い歯の象牙質のは
あいでも，その形状はうたがう余地がない。

生鉱物アパタイトの主体と考えられるハイドロキシアパタイト（OH-A）については，詳細に結
晶構造がきめられている。（POSNER et al, 1958; KAY et al, 1964）。アパタイト
グループの空間群は $P6_3/m$ ，すなわち $a_0 = b_0$ ，合成OH-A [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$]にかん
して， a_0 ：9.418， c_0 ：6.881とされた。

このほかに，OHイオンをFイオンで置換したフルオルアパタイト [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$]，および
 CO_3 イオン，Clイオンを含むものなどが生物には含まれる。このうち CO_3 はどの位置にはいる
かは，現在論争中である。（SIMPSON, 1965; ELLIOTT, 1965; TERMINE & POSNER,
1967）。欠陥構造の問題はこゝでは考えない。

天然の鉱物でも少量の CO_3 置換をもつものは多いと思われる（GOLBRAPSEN et al,
1966）がMe CONELLが研究したMastodonのエナメル質は CO_2 を2.72wt% 含む
 CO_3 -Aの一種Dahliteで， a_0 ：9.454， c_0 ：6.892，AMES（1959）の合成した
Dahliteで CO_2 0.5%のものは a_0 ：9.45， c_0 ：6.88である。 CO_2 2.0%までの4種
のX線回折を報告し， CO_2 の量が多くなるにつれて（002），（004）のピークが小角方向へ，
（300），（410）などのピークが広角方向に移動すると報告した。すなわちOH-AでもF-A
でも， CO_3 含量が増すにつれて a_0 は9.435→9.299Å， c_0 は6.877→6.932なるという

(BAUD d BUCHS, 1965; LEGEROS et al, 1967)。このほか、 Na^+ , Mg^{++} などごくふつうに含まれる。したがって実際には単位胞の大きさと組成の関係は単純ではないが、ある程度の傾向を考えることができる。そこで、OH-A, F-A, Cl-A, Dahlite の a_0 , c_0 をあげてみよう。

	a_0	c_0
OH-A $\text{Ca}_5 (\text{PO}_4)_3 \text{OH}$	9.418	6.884
F-A $\text{Ca}_5 (\text{PO}_4)_3 \text{F}$	9.36	6.88
Cl-A $\text{Ca}_5 (\text{PO}_4)_3 \text{Cl}$	9.634	6.778
Dahlite の一種 (Mastodon)		
$(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Na}, \text{H}_3)_8 (\text{P}, \text{C})_3 \text{O}_{12} (\text{OH}, \text{Cl}, \text{F})$	9.454	6.892

Dahlite の分子式は McCONNELL (1960) による。

これらの原子の置換によって、単位胞の大きさも、また結晶の規則性のみだれも、さまざまに変えることが予想される。この点については別に報告する。

今回あつかった試料のX線回折の結果をつぎにのべる(第6表, 第10, 11図)

(1) 単位胞の大きさ

a_0 は $9.348\text{\AA} \sim 9.443\text{\AA}$ まで、かなり広い分布を示すが、 c_0 は 6.881 から 6.90 のあいだに集っている。半価巾は (300) と (002) で測定した値を表にしたが、結晶のよい合成 OH-A や天然のものにくらべかなりの巾をもつ。この点にかんしては、強度も考慮にいれて、TERMINE & POSNER (1967) が非晶質相の量を知るために、くわしく研究している。

a_0 と c_0 との関係についてみると、全体としては、 a_0 が大きくなると c_0 も大きくなる傾向が、かろうじて認められるが、エナメル質にかんしては、 c_0 はかなりばらつくが、 a_0 はほぼ一定している。

発掘された試料が非常にもろくなっているばあいでも、エナメル質は原型をとどめ、半透明にその光沢を残していることが多い。我々の試料では、エナメル質は地質学的な環境にたいして感受性が弱いようにおもわれる。

(2) 半価巾と単位胞の関係

象の臼歯のエナメル質はほとんど 9.443 の a_0 をもち、半価巾は $25 \sim 30^\circ$ に属する (002) の半価巾は前者よりはばらつきが大きい。

象牙質とセメント質のばあいには 300 のピークによって、半価巾 (結晶粒子の大きさと反比例する数値) と a_0 の関係をしらべると、図のように単調な関係がみられる。すなわち、結晶の単位胞の a_0 が小さいほど平均の結晶粒子は大きいといえる。この問題については後でもう一度ふれるが、単位胞の大きさとアパタイトの組成には、ある関係があるので、有機物が多く一般に結晶粒子の小さい象牙質が無機的環境の影響を敏感にうけて、化石が変質していくと考えられる。

(3) 一般にエナメル質のX線回折線は、ピークの分離がよく、強度は大きく半価巾は小さい。すなわち、従来の研究の諸結果から、有機物がひじょうに少なく、アパタイトの結晶は比較的大きく、

非晶質の部分が少ないことを示している。

第6表 現生，化石象の歯牙組織のX線回折結果(X-ray analysis of recent and fossil elephant's teeth tissues)

試料番号 ¹⁾	種	組織	2) 単位胞の大きさÅ		半 価 巾		アパタイトの種類 ⁴⁾
			a ₀	c ₀ (300)	(002)		
1	Elephas	S	9.443	6.893	0.27	0.20	CO ₃ -Apatite
		maximus D		6.892		0.21	
		D	9.412	6.900		0.56	OH-Apatite unerrupted
2	Elephas	S	9.443	6.892	0.30	0.10	CO ₃ -Apatite
		naumanni D	9.410	6.884	0.90	0.32	OH-Apatite
5	"	E	9.368	6.890	0.60	0.17	F-Apatite
3	"	E	9.412	6.888	b ³⁾	0.24	OH-Apatite brown, fresh
		E	9.359	6.886	0.44	0.13	F(?) -Apatite white, altered
		S	9.443	6.892	0.29	0.15	CO ₃ -Apatite
		D	9.433	6.899	0.77	0.30	OH-Apatite
		Z	9.38	6.898	0.77	0.37	F -Apatite
4	"	E	9.424	6.881	0.65	0.21	OH-Apatite
8	Elephas	S	9.436	6.886	0.24	0.16	CO ₃ -Apatite
		shigensis D	9.348	6.848	0.20	0.06	F(?) -Apatite
		Z	9.364	6.890	0.28	0.07	F -Apatite
6	Stegodon	S	9.443	6.890	0.27	0.17	CO ₃ -Apatite
		orientalis D	9.412	6.890	0.70	0.26	OH-Apatite

1) 第1表 参照，

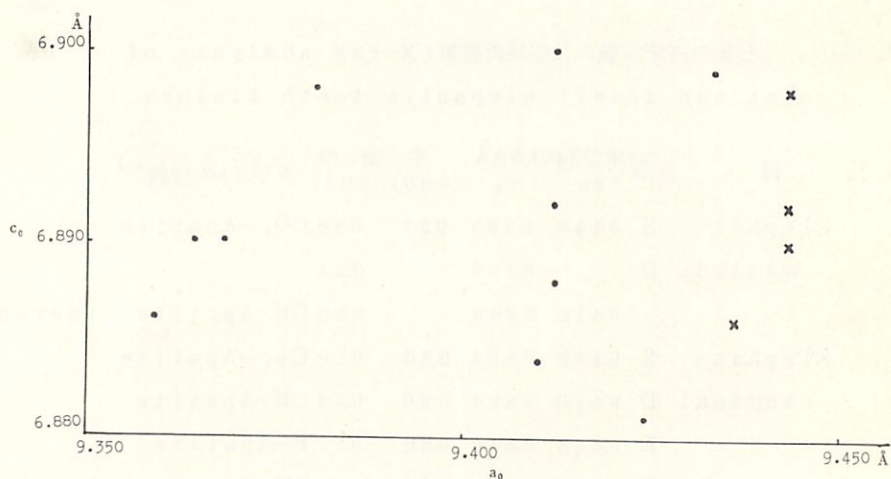
2) S: エナメル質(Enamel), D: 象牙質(Dentine), Z: セメント質(Cementum) E: 切歯の象牙質(Dentine of Incisor),

3) b: 巾が広く測定できない。

4) これまでのデータにもとづく推定。

第10図 $C\alpha$ と a_0 の関係

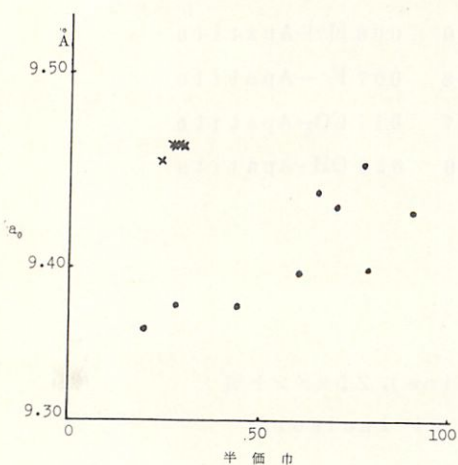
(The relationship between $C\alpha$ and a_0) ×:エナメル質
 ・:象牙質・セメント質



第11図 a_0 と半価巾の関係

(The relationship between a_0 and half width)

×:エナメル質, ・:象牙質・セメント質



X線回折線のピークの強度は、結晶の粒子の大きさの測定の誤差のもとになるように、非晶質物質(蛋白やその他の有機物、無機物)によっても小さくなり、ピークの巾がひろく、バックグラウンドが大きくなる。それで、エナメル質のように、有機質の少ないばあいには、ピークの分離がよく、強度、半価巾等の測定も容易であるが、有機物が多くなると、それらは困難になる。石灰化の初期の象牙質のピークが、ひどく分離の悪いのは、有機物が著しく多いことも大きな原因と考えられる。実験結晶からみられるように、化石の保存が悪い場合には結晶は大きくなり、有機物を含めて非晶質部分は少くなっていると思われる。海底産のナウマン象の牙のように保存のよいものは、現生のものとほとんど変わらないピークを示す。しかし、保存が悪くぼろぼろになっている試料でもその条件によ

ってピークの強度が弱く、分離のよくない例もある。

(4) アパタイトの組成について

a_0 の変化とX線回折(300)のピークとして顕著にあらわれる差異は、これまでの多くのアパタイトの研究から、主としてその組成の差異と結びつけられる。

もっとも著しくあらわれたのはエナメル質と象牙質の差である。従来の多くの研究から生体中のアパタイトの中心はOH-Aで、 CO_3^{--} , F^- その他の置換がおこなわれている。そこで、前にのべたように a_0 からアパタイトの組成をきめることはできないが、たとえば、ヒトの歯のエナメル質の CO_2 含量が大体 0.05 wt% であることから、OH-A をこの程度の CO_3 で置換したものの a_0 に相当するものを $\text{CO}_3\text{-A}$ とし、 F^- 置換のあるものを F-A とすると、 $a_0 > 9.43 \text{ \AA} : \text{CO}_3\text{-A}$, $a_0 < 9.40 \text{ \AA} : \text{F-A}$ となる。

以上の仮定でアパタイトの種類をきめると、表に示したようになる。^{*} すなわち、エナメル質はほとんど $\text{CO}_3\text{-A}$ であり、象牙質とセメント質については、OH-A : F-A は 6 : 5 である。

変成環境と、その古さを推定することが可能なのは、一定条件の環境が必要であろう。

その点で、日御碕沖の海底産の牙や変質のひどいシガ象の臼歯の象牙質の結果は興味深い。牙の外側の粘土状の部分のみが F-A(?) を示すのは、特殊条件(微生物)を考えられる。LeGEROS ら(1967)の実験からおすと $\text{CO}_3\text{-A}$ の可能性も大いにあり、現在検討中である。

しかし、SとDの差として出ているように化石の研究が、現在の扉をひらく鍵と考えられるものである。

V. まとめと今後の問題点

ナウマン象の歯牙を中心に、その組織学的・生化学的研究をおこなった。比較試料としては、現生のアジア象、化石としてシガ象・東洋象の歯牙をあかった。

組織学的研究としては、試料の研磨切片、脱灰切片、超薄切片をつくり、光学顕微鏡と電子顕微鏡により観察した。また、目的に応じて各種の染色法を用い、組織化学的な研究をおこなった。その結果を列記すると次のようになる。

- (1) 象牙細管は、太さ $1.5 \sim 2 \mu$ であり、象牙エナメル境付近で折れ曲りいちじるしく分岐する。細管に直交あるいは斜交して長さ約 10μ の突起様のものが認められた。細管はしばしばエナメル質中に約 20μ ぐらいのびてエナメル紡錘をつくる。
- (2) 象牙細管の管壁は、 $600 \sim 700 \text{ \AA}$ の大周期で、その間に非対称の小周期をもつ線維を主としている。内部は中空を示すことが多いが、充填物のあるばあい、それは基質とほぼ同じよう

* 単純な各アパタイトを示すものではなく、あくまで、置換イオンの比較的多いことを示すものである。

な電子密度をもち、ピクリン酸で黄染される物質である。

(3) アンドレーゼンの線条は明瞭に観察される。

(4) 象牙質中には歯髄腔の残存とみられる管がある。切片では、径 $40 \sim 60 \mu$ の円形の孔があり、その内部に径 10 数 μ の円形の管が認められる。

(5) 象牙質中には、線維構造がよくのこされていて、それには一般的なコラーゲン線維よりも細い線維像をしめすものがある。

(6) エナメル小柱は、径 $6 \sim 10 \mu$ で、横断面では弧門形をして規則的に配列する。縦断面ではアパタイトの微結晶が、小柱鞘に沿った部分では小柱の長軸に平行に、はなれた部分ではある角度（最大 $4 \sim 5$ 度）で配列する。

(7) エナメル小柱の横断形、小柱の径、小柱の配列の状態は、ナウマン象、アジア象、マンモス象の間に若干の差が認められる。

(8) 歯冠セメントは、セメント管（径 20μ ほど、セメント質の内部全域にある）、セメント小体（径 $5 \sim 7 \mu$ の円形ないし不規則な形態で全域に存在）、セメント線維、層板構造が観察された。

生化学的研究としては、ペーパークロマトグラフ法によるアミノ酸分析、マイクロケルダール法による窒素定量をおこなう。ナウマン象の歯牙に残存するアミノ酸組成・総量、コラーゲンのタンパク質量、アミノ酸組成を検討した。

(9) ナウマン象の歯牙には、アジア象のそれと同様にグリシン、ハイドロキシプロリン、プロリンが多量に含まれている。したがって、それらからコラーゲンの存在がきらかである。

(10) アジア象、ナウマン象、東洋象のエナメル質のアミノ酸はその総量において象牙質よりすくないが、その組成において類似性をもつ。とくにハイドロキシプロリンの存在は、エナメル質にもコラーゲン様タンパク質のある可能性を示すものであろう。

(11) アミノ酸検出量は、象牙質においてもっとも多いが、その時代および保存条件の差によるちがいは、セメント質においてもっとも大きく、象牙質がこれにつき、エナメル質において最小である。

(12) ナウマン象の臼歯の象牙質コラーゲンは、アジア象のそれにくらべて類似したアミノ酸組成をもつが、グリシン、リジンの含有量が多く、プロリン、アスパラギン酸、セリン、バリン、アルギニンの含有量がすくないという特徴がある。

X線回折としては、歯牙を構成する結晶物質（アパタイト）について、ガイガーフレックスを用いて粉末試料の回折線を記録させ、Bragg 間隔の強度（相対）の測定と Cell dimension の計算、半価巾の測定、 a_0 の計算からアパタイトの種類の推定と考察をおこなった。

(13) アジア象、ナウマン象、シガ象、東洋象を通じて、エナメル質はほとんど CO_3 -アパタイトで、象牙質とセメント質については、OH-アパタイトと F-アパタイトである。

(14) F-アパタイトは、ある化石化作用のもとで二次的に形成されたものであろう。

上述のような結果からわかるように、今回の研究は、ナウマン象の歯牙の観察、アミノ酸分析、

X線回折による構成物質の組成と構造の記載を主とした。ここには、さらに検討すべきことを多く含んでいるが、次の研究を進めるために、いくつかの問題点をあげる。

第1表に、比較解剖学的見地からの研究がある。たとえば、異った部位(歯種のちがいなど)、同種間の差異、異種間の差異をあきらかにする必要がある。この研究においても、エナメル小柱の形状が、アジア象、ナウマン象、マンモス象の間で差異のあることがわかった。また、ナウマン象の象牙質コラーゲンのアミノ酸組成はアジア象のそれと類似しているが、ある種のものについては含有量に差がある。なお、アジア象の臼歯Nの象牙質には、グルタミン酸・アスパラギン酸(酸性アミノ酸)とグリシンが、同じアジア象の他の歯種のものより多量検出されている。

第2には、象牙・エナメル境、セメント・エナメル境のような組成の境界部についての問題がある。前者については、象牙細管がエナメル質中にのびてエナメル紡錘をつくっているのが観察されたが、アジア象、ナウマン象、東洋象のエナメル質中にヒドロキシプロリンが検出され、エナメル質中にもコラーゲン様タンパク質の存在が考えられることと関係づけて、発生学的に研究すべき問題である。セメント質中のセメント線維の存在も、シャービー線維との関係において重要である。X線解析の結果、エナメル質をつくるのは主として CO_3 -アパタイトであり、象牙質・セメント質はOH-アパタイト、F-アパタイトであると推定されることは興味深い。このことに関連して、各組織中から発見されたコラーゲン線維の構造や組成をきめることも重要であろう。

第3に、組織学的研究、生化学的研究、X線回折による研究のいずれからでも、化石の保存条件の問題が提出されている。これは将来の比較研究において、化石化過程を追求するとともに、もとの組織の構造や組成を復元することの重要性を示すものといえよう。

第4に、研究の方法として、同一の試料について、さらに多面的に、たとえば赤外吸収スペクトルやマイクロプローブアナライザー、走査電顕など、分析して総合化することが必要である。また、逆に、異った部分や試料について同一の条件や手段によって追求して、団研内の研究のレベルをそろえることも要求されるのである。このようにして、原子・分子レベルの研究からマクロの形態までを統一的にとらえ、生理・系統・生態との関連をあきらかにすることができよう。

引用文献

秋山雅彦 (1964) 地質雑, 70(828), 503-516.

AMES, L.L. (1959) Econ. Geol., 54, 829-841.

荒谷真平 (1964) コラーゲンシンポジウム, 5, 45-62.

BAUD, C. & M. BUCHS, (1965) in Tooth Enamel, John Wright, Bristol, 32-35.

BEAR, R.S. (1944) Jour. Amer. Chem. Soc. 56.

CARLSTRÖM, D. & J.B. FINEAN. (1954) B.B.A., 13, 183-1891.

- DOBERENZ,, A.R. & R.W.G. WYCKOFF (1967) Jour. Ultra. Res., **18**, 166-175.
- ELLIOTT, J.C. (1965) in Tooth Enamel, idem, 219.
- FITCH, S.M., M.L.R. HARKNESS & R.D. HARKNESS (1955) Nature, **176** 4473, 163.
- FISHER, F.G. & U.H. BOHN (1955) Hoppe Seyler's Zeitschrift fur Physiologische Chemie, 302.
- 藤原隆代, 井尻正二 (1959) 地球科学, **41**, 20-31.
- 藤原隆代 (1962) ミクロ, **2**, 22-23.
- FUNAOKA, S. (1926-27) Acta Scholae Med. Kyoto, **9**, 41-43.
- GJULBRANDSEN, R.A., J.R. KRAMER, L.B. BEATTY & R.E. MAYS (1966) Amer. Mineral., **51**, 819-824.
- HINRICHSSEN, C.F.I. & M.B. ENGEL (1966) Archs. oral. Biol., **11**, 65-93.
- HIRAI, G. (1959) Okajima Folia Anatomica Jap., **34** (2), 125-157.
- Hō, T. (1965) Proc. Nat. Acad. Sci., **54** (1), 26-31.
- 井尻正二・川井尚文 (1948) 東京科博研究報告, 23, 1-6.
- IJIRI, S. & T. FUJIWARA (1958) Proc. Japan Acad., **34** (5), 280-287.
- & ——— (1959) idem.
35 (8), 469-471.
- & S. KOBAYASHI (1960) idem.
36 (1), 38-42.
- 貝原 久 (1966) ミクロ, **3**, 61-64.
- KAIBARA, H. (1968) Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ., (Geol. Min.), **34** (2) (in press)
- KAMEI, T. (1966) Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto, B. **32** (4), 381-400.
- 亀井節夫 (1967) 九十九地学 (京大教養部地学研究報告), **2**,
- 貝原 久・佐藤敏彦・小林巖雄・堀田 直・秋山雅彦・藤原隆代 (1967) 地質雑, **73**(2), 122.
- KAWAI, N. (1955) Okajima Folia Anat. Jap. **27** (2-3), 115-130.

KAY, M.I., R.A. YOUNG & A.S. POSNER (1964) *Nature*,
204 (4963), 1050.

桐野忠大 (1958) *口腔病雑誌*, **25**(3), 343-59.

LeGEROS, R.Z., O.R. TRAUTZ, J.P. LeGEROS, E. KLEIN
& W.P. SHIRRA (1967) *Science*, **155**, 1509-1509.

前島恒利 (1961) *解剖雑誌*, **36**(5), 496-510.

McCONNELI, G. (1960) *Amer. Mineral.*, **45**, 209.

MAKIYAMA, J. (1924) *Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ.*
B. 1 (2), 256-264.

——— (1938) *idem.*
14 (1), 40-57.

MATSUMOTO, H. (1929) *Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ.* (2),
13 (1-5), & (7-11).

村木弥一郎 (1958) *解剖雑誌*, **33**(6), 583-609.

NAUMANN, E. (1881) *Palaeontographica*, **28**, 1-39.

OWEN, S.R. (1840-1845) *Odontography*, London.

POSNER, A.S., A. PERLOFF & A.F. DIORIO (1958) *Acta*
Cryst. **11**, 308.

佐藤信次・須藤俊男・井尻正二 (1957) *地質雑誌*, **63**(738), 201-203.

RANDAL, J.M., R.D.B. FRASER, S. JACKSON, A.V.W.
MARVIN & A.C.T. NORTH (1962) *Nature*, **169**, 28.

SHACKLEFORD, J.M. & R.W.G. WYCKOFF (1964) *Jour.*
Ultra. Res., **11** (1-2), 173-180.

SHOBUSAWA, M. (1952) *Okajima Folia Anat. Japan*, **24**
(5-6), 371-392.

SIMPSON, D.R. (1965) *Science*, **147**, (3657), 501-502.

SUNDSTRÖM, B. (1966) *Archs. oral Biol.*, **11**, 1221-
1231.

鈴木忠房 (1938) *臨床歯科*, **10**(12), 1-16.

田崎和江 (1967) *地球科学*, **21**(1), 21-24.

TERMINE, J.D. & A.S. POSNER (1967) *Calc. Tiss. Res.*,
1, 8-23.

WARSHAWSKY, Y.H. & G. MOORE (1967) *Jour. Histochem.*
Cytochem., **15**, 542-549.

WYCKOFF, R.W.G. (1965) in Tooth Enamel, idem, 54.

山川一雄 (1959) 解剖雑, 34(6), 852-66.

吉田康子 (1967) 東京教育大学卒論.

象団研グループ (1966) ミクロ, 3, 87-95.

Histological and Biochemical Studies on the Fossil
Elephant Teeth of Elephas naumanni MAKIYAMA
(Preliminary report).

(Summary)

Masahiko AKIYAMA, Takayo FUJIWARA, Susumu
HOTTA, Hisashi KAIBARA, Tadao KAMEI, Iwao
KOBAYASHI, and Toshihiko SATO

It has been already known that the microstructure of the mammalian teeth has the close relationships to their taxonomical position and, consequently, to their ecological factors. But, even now, their application to the fossil teeth are barren in the paleontological field. Therefore, the members of this study attempted to treat from histological and biochemical points on the teeth of Naumann's elephant (Elephas naumanni MAK.) which was fairly known fossil elephant of Late Pleistocene in Japan.

Optical- and electromicroscopy, microradiograph and histochemistry were used in the present study on fossilized dental tissues. As a result, some microstructures, like dentinal tubules, enamel rods,

* Elephant Research Group (ERG)

cementum corpuscle and so on, are observed, and some considerations to compare with the materials of other species are given. Among them, the presence of collagenous fibril in fossilized dental tissue of Naumann's elephant is conspicuous. Biochemical investigation verified that evidence from amino acid composition and contents, ie. Glycine, Hydroxyproline and Proline are abundant in fossilized dental tissues, though they vary in contents and composition in each tissues respectively. Especially, Hydroxyproline in enamel is present not only in the case of Naumann's elephant teeth, but also in the case of other elephants of fossil and living.

Organic mineral substance in those tissues was identified by X-ray analysis, and then, it was clarified that the enamel minerals are chiefly designated as CO_3 -apatite and the minerals in dentine and cementum are OH-apatite and F-apatite.

図 版 説 明

Plate I

- Fig. 1 咬板の縦断面の一部，最左端：エナメル質。左側より第3帯：細管の屈曲する部分，第2帯：細管の方向がやや外方に向っている部分。第1帯：上下方向にのびて密集している部分。（75倍）
- Fig. 2 第3帯の象牙細管と線維，その枝分れと，突起状の管^{*}，左側がエナメル質。（410倍）
- Fig. 3 エナメル紡錘，象牙線維の侵入している部分，左側がエナメル質。（410倍，偏光顕微鏡）
- Fig. 4 象牙質の脱灰超薄切片，孔は象牙細管の斜断面，黒い斑点はコラーゲン線維の断面，細管壁にコラーゲンが密集している。（12000倍，電子顕微鏡）
- Fig. 5 ^{*}歯髓腔の延長^{*}とみられる管の横断面，孔の内部に内容物の断面^{*}みられる。咬板の水平断面の研磨切片標本。（75倍）
- Fig. 6 上図と同じものの脱灰切片，位置は5図のものより下位。（歯髓腔に近い）。ピクロフクシン染色。（190倍）
- Fig. 7 第5図と同じ孔の斜断面の研磨切片，斜めに切れた象牙細管の密集部の周辺をとりかこんでいる。孔の中央に管状物がみとめられる。（410倍）

Plate II

- Fig. 1 アジア象エナメル質レプリカ電顕像（3000倍）
- Fig. 2 マンモス象エナメル質レプリカ電顕像（3000倍）
- Fig. 3 3, 4, 5, 6, ナウマン象エナメル質レプリカ電顕像（3000倍）。Fig. 6は表層のエナメル質。

Plate III

- Fig. 1 ナウマン象セメント質の反射像。顕粒状物質が点在する。セメント管，セメント小体も見られる。（45倍）
- Fig. 2 同上，層板構造。（8倍）
- Fig. 3 ナウマン象セメント質のマイクロラジオグラム。（150倍）
- Fig. 4 同上，ヴェンギーソン染色した脱灰切片の像。（140倍）
- Fig. 5 ナウマン象セメント質中のコラーゲン線維。脱灰残査の音波破壊による。（45000倍）
- Fig. 6 アジア象セメント質中のコラーゲン線維。同上。（32000倍）

Fig. 7 ナウマン象臼歯のセメントーエナメル質境，右側がエナメル質，左側がセメント質。
(6 0 倍)

Plate IV

Fig. 1 ナウマン象セメント質のレプリカ電顕像。中央の円形体はセメント小体。(9800倍)

Fig. 2 アジア象セメント質のレプリカ電顕像。中央の円形体はセメント小体。コラーゲン
線維のレプリカ像もみとめられる。(6 0 0 0 倍)

PLATE I

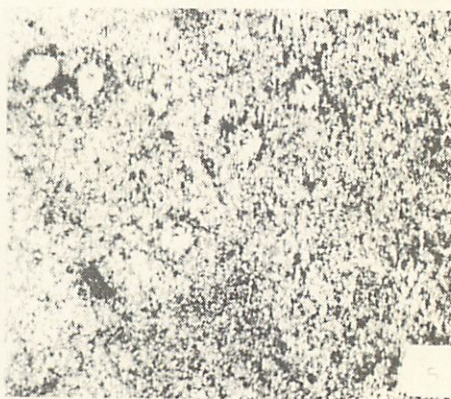
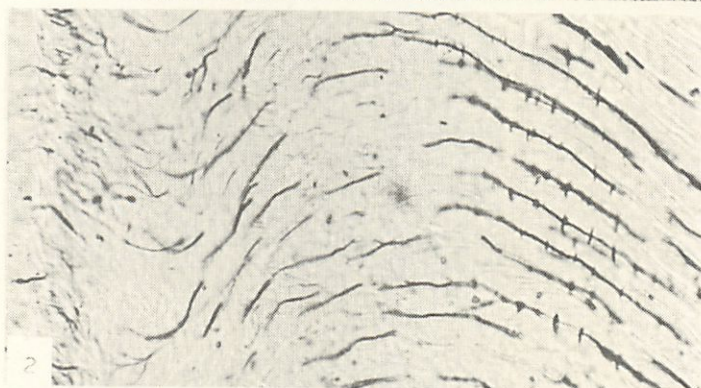


PLATE II

