

〔原著〕 松本歯学 8 : 23~50, 1982

硬化象牙質に関する電子顕微鏡的研究
第2報 歯冠硬化象牙質の細管内沈着物と歯石および唾石との比較

赤羽章司

松本歯科大学 電子顕微鏡室 (主任 赤羽章司 学士)

枝重夫, 川上敏行, 中村千仁, 河住信

松本歯科大学 口腔病理学教室 (主任 枝重夫 教授)

Electron-microscopical Studies on the Sclerosed Dentin
Second Report : Comparative observations on the intertubular deposits
in the coronal dentin, dental calculus and salivary stone

SHOJI AKAHANE

Laboratory of Electron-microscope, Matsumoto Dental College
(Chief: B. Sc. S. Akahane)

SHIGEO EDA, TOSHIYUKI KAWAKAMI, CHIHITO NAKAMURA and MAKOTO KAWASUMI

Department of Oral Pathology, Matsumoto Dental College
(Chief: Prof. S. Eda)

Summary

For the purpose of searching the origin of the intratubular deposits in the coronal sclerosed dentin, the deposits were compared with dental calculus and salivary stone by a scanning electron microscope and electron probe microanalysers with energy and wavelength dispersive x-ray spectroscopies including the contour map method.

Results were as follows:

1. The layer of minute crystals covered on the attrition surface contained the elements of Na, Mg, Al, P, S, Cl, Ca, Mn, Fe, Zn, Br.
2. The rhombohedral crystals in the dentinal tubules contained the elements of F, Na,

本論文の要旨は第22回歯科基礎医学会総会(昭和55年10月5日), および第11回松本歯科大学学会総会(昭和55年11月29日)において発表された。なお, 本研究の一部は昭和55・56年度文部省科学研究費助成金によってなされた。(1982年5月7日受理)

Mg, P, S, Cl, Ca.

3. The hypo- and hyper-calcified areas and leptothrichia, whether calcified or not, were observed on the dental calculus. An analysis on the surface layer showed that it contained the elements of F, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Zn. Mg had a tendency to increase in hypocalcified area.

4. On the fractured surface of dental calculus, the stratified structures, calcified leptothrichia, plate-like crystals and hexagonal cuboidal crystals were observed. These consisted of the elements of Na, Mg, Si, P, S, Cl, Ca, Zn. The crystals were much abundant in Mg.

5. A lamella structure, indeterminate and hexagonal crystals, and rod-shaped structures were observed on the surface of salivary stones. The elements of these surface structures were Na, Zn, As, Br, In, Sn, Pb.

6. The stratified structures being composed of hypo- and hyper- calcification, minute granular, rod-shaped, plate-like and globular crystals were seen on the fractured surface of salivary stones and contained the elements of F, Na, Mg, Al, P, S, Cl, Ca, Cr, Cu, As, Se, Pd, In, I, Au, Hg, Pb. The hypocalcified area was much abundant in S.

7. According to the contour map of dental calculus with the teeth, dental calculi were more abundant in P and Ca than cementum and dentin. The contour map showed that the Ca contents and the stratified structures closely correlated.

8. The contour maps showed more clearly than x-ray images that the contents of P, S, and Ca and the stratified structures correlated.

9. The elements of intratubular deposits in the coronal sclerosed dentin were considered to come from saliva because the structure and elements of crystals relatively resembled to those of dental calculi.

緒 言

咬耗や磨耗によって出現する歯冠硬化象牙質を走査電子顕微鏡(Scanning electron microscope, SEM と略)で観察した報告は多く(Tronstad, 1973 a⁴⁴⁾, b⁴⁵⁾; 見明, 1978³¹⁾, 1979³²⁾; Mendis & Darling, 1979³⁰⁾; 木津, 1979²⁶⁾; Brännström & Garberoglio, 1980⁵⁾; Toda, et al., 1980⁴³⁾; 山崎(芳), 1980⁴⁸⁾; 枝, 1980⁷⁾; 山崎(喜), 1981⁴⁹⁾; 井上, 他, 1981¹⁸⁾; 赤羽, 他, 1981¹¹⁾), とくに著者ら(赤羽, 他, 1981)¹¹⁾は第1報として, 象牙細管内沈着物の結晶形態および線維構造物について詳しく述べている。それによると結晶物は菱面体結晶を主体とし, 形態的に斜方面体晶系(菱面体晶系), 立方晶系, 正方晶系, 六方晶系, 微細顆粒状結晶に分類され, 線維構造物としてコラーゲン線維および象牙線維の石灰化物が挙げられている。またEPMA (Electron probe x-ray micro-analyser)による組成分析では, Mgが象牙質基質

より細管内結晶物に多いことを認めた。

歯冠硬化象牙質の細管内沈着物の由来について, 枝(1980)⁷⁾や山崎(1981)⁴⁹⁾は唾液由来を推定しているがまだ結論づけるには至っていない。そこで著者らは今回は口腔内の沈着物としての共通性(唾液の関与)がある歯石および唾石について, SEMによる形態観察とEPMAによる組成分析を行ない, 歯冠硬化象牙質の細管内構造物の由来について比較検討を行なってみた。とくにEPMAによる定性分析には, 分析のスピードが早く, 結果をグラフ表示できるエネルギー分散型分光器(Energy dispersive x-ray spectroscopy, EDSと略), および微量元素の検出に有利な波長分散型分光器(Wavelength dispersive x-ray spectroscopy, WDSと略)を併用し, さらに歯石と唾石については含有元素の濃度分布を2次的に表示できるContour map法を用いてその組成状態を検索した。

材料と方法

検索材料は表1に示す通りで、歯牙2本、歯石4種、唾石3個である。すなわち歯冠硬化象牙質および歯石は、歯牙を抜去後直ちに10%ホルマリン液にて固定した。唾石は顎下腺導管内および顎下腺排泄管内より摘出したもので、摘出後直ちに10%ホルマリン液にて固定した。これらの材料はそれぞれ以下の如き方法で検索した。

1) SEMによる観察

歯冠硬化象牙質は近心および遠心を研磨しながら厚さ約0.5 mmの長軸断研磨標本を作製し、通法に従がいエタノールで脱水、象牙質の露出した咬耗部分を含むよう Liq N による歯牙の長軸凍結切断を行ない、CO₂ によって臨界点乾燥を施した。切断された面および表面は組成像観察のためにカーボン蒸着を施し、さらに一部は Au イオンスパッタ・コーティングを行ない2次電子像観察に供した。

歯石は歯牙に沈着したままを長軸に対して直角に厚さ約2 mm幅で切断し、通法によるエタノール脱水を行なった。その後 Liq N による凍結切断、CO₂ による臨界点乾燥を行ない、組成像観察用としてカーボン蒸着、2次電子観察用として Au イオンスパッタ・コーティングを施した。一部の試料は脱水後エポキシ樹脂に包埋し、バフ研磨ののち組成像観察のためにカーボン蒸着を施した。また歯石のセメント質との接合面観察は、Liq N 中で自然剥離した試料を用いた。

唾石は通法に従がいエタノールで脱水し、Liq N による凍結切断後、CO₂ による臨界点乾燥を行ないその断面および表面に組成像観察用としてカーボン蒸着、また2次電子像観察用として Au イオンスパッタ・コーティングを施した。一部の

表1：検索材料

試料名	年齢・性別・部位
歯冠硬化象牙質	1. 65才 ♂ [I]
	2. 75才 ♂ [I]
歯石	1. 66才 ♂ [2]
	2. 71才 ♀ [5]
	3. 78才 ♀ [I (歯肉縁下)]
	4. 78才 ♀ [I]
唾石	1. 38才 ♀ 右側顎下腺導管内
	2. 51才 ♀ 右側顎下腺導管内
	3. 60才 ♂ 右側顎下腺導管内

試料は乾燥ののちエポキシ樹脂に包埋し、バフ研磨後、組成像観察のためにカーボン蒸着を施した。

SEM 観察はいずれの試料も日本電子 JXA-733 X線マイクロアナライザーにより、2次電子像および組成像の観察を行なった。

2) EPMAによる定性分析

歯冠硬化象牙質、歯石および唾石の表面あるいは断面の分析は、組成像観察用としてカーボン蒸着した試料を使用した。定性分析はその結果がピークスペクトルで表示されるため、量的な比較が容易な EDS による分析法、および波長分解能あるいは検出限界が高いため微量元素の検出に有利な WDS による分析法を併用した。EDS による分析条件は加速電圧 15 KV、ビーム電流 2×10^{-8} A、測定時間 100 sec で行ない、WDS による分析は加速電圧 15 KV、ビーム電流 1×10^{-8} A で、それぞれ10ポイントの測定を行ない2ポイント以上で検出されたものを含有元素とした。

分析機器は日本電子 JXA-733 X線マイクロアナライザーおよび Kevex-7000 エネルギー分散型分光器である。

3) EPMAによる Contour Map

歯石および唾石をエポキシ樹脂に包埋し、バフ研磨後カーボン蒸着を施した試料を用いて WDS による元素分析を行ない、含有元素の分布状態を Contour map 法により検索した。歯石の分析条件は加速電圧 15KV、ビーム電流 5×10^{-8} A で、P および Ca について広域の Contour map は $1,200 \times 2,520 \mu\text{m}^2$ の領域の4,331ポイント、拡大の Contour map は $60 \times 120 \mu\text{m}^2$ の領域の3,721ポイントについて測定し、唾石の分析条件は加速電圧 15 KV、ビーム電流 5×10^{-8} A で、P, S, Ca について広域の Contour map は $3,600 \times 3,650 \mu\text{m}^2$ の領域の8,954ポイント、拡大の Contour map は $60 \times 100 \mu\text{m}^2$ の領域の3,111ポイントについて測定を行なった。

分析機器にはいずれもコンピュータ・コントロール・システムを装備した、日本電子 JXA-733 X線マイクロアナライザーを使用した。

観察結果

1. SEM 観察と EPMA による定性分析

咬耗によって象牙質の露出した歯冠硬化象牙質の表面は、沈着物によって全面を覆われているた

め象牙細管は認められず、その表面は平坦で、各所に結晶物の沈着が見られた(図1)。この結晶物をEDSによって定性分析すると、PおよびCaが主要成分として高いピークを示し、他には微量元素としてNa, Mg, S, Clが検出された(図2)。さらに平坦部をEDSによって定性分析すると、結晶物と同様な元素を検出できたが、PとCaのピークが約 $\frac{1}{2}$ となりしかもCaはPより低かった(図3)。WDSによる定性分析ではNa, Mg, Al, P, S, Cl, Ca, Mn, Fe, Brが検出され(図4)、他にSiとZnも存在していた。歯冠硬化象牙質の断面を観察すると、象牙細管内には菱面体結晶が密に沈着し(図5)、この結晶をEDSで分析するとPおよびCaが高いピークとなり、とくに微量元素の中ではMgが高いピークを示していた(図6, 7)。WDSによる分析ではNa, Mg, P, Caが検出され(図8)、他にF, S, Clが存在していた。

歯石表面の2次電子像では、有機質成分と思われるものが網目状を呈し、その中に平坦な部分や球状の構造物が見られた(図9)。同一視野の組成像では、平坦部や球状物は明るく見えるので石灰化の高いことが確認された(図10)。EDSによって石灰化の高い平坦部を分析すると(図10, 星印)、PとCaが主要成分として検出され微量ながらNa, Mg, Sも認められた(図11, 12)。また網目状を呈する石灰化の低い部分(組成像で暗く見える部分, 図10金米糖印)ではPおよびCaはともに著しく低下し(図13)、微量なNa, Mg, Al, Si, Sが検出されたが、とくにSは高石灰化部より高いピークを示した(図14)。歯石の表面を高倍率で観察すると、線状の菌体が多数からみ合い(図15)、またその外殻が蜂巢状を呈し一部は石灰化物の沈着によって埋没している様子が見られた(図16)。このような表面をWDSによって分析するとF, Na, Mg, Al, P, S, Caが存在し(図17)、他にSi, K, Znが認められた。歯石が歯牙に沈着したままの状態ではエポキシ樹脂に包埋し、バフ研磨した面の組成像をみると歯石、セメント質、象牙質が3層に区別され、中でも歯石は石灰化が高くその程度のちがいが縞構造を呈していた(図18)。EDSによる歯石、セメント質、象牙質の分析では、PとCaが歯石においてわずかに多く、Mgは逆に象牙質に多い傾向を示した(図19~24)。歯石の凍結

断面では、菌体の外殻が多数見られたが、全体的には石灰化物が密に沈着し、一部には板状結晶(plate-like crystal)の成長を認めた(図25)。このような断面をWDSによって分析するとF, Na, Mg, P, S, Ca, Znが検出され(図26)、他にSi, Clが存在していた。他の断面では菌体の石灰化したものと思われる桿状の構造物や六方体結晶(hexagonal crystal)が観察されたが(図27)、歯冠硬化象牙質の細管内に多数沈着する菱面体結晶(rhombohedral crystal)は見られなかった。また歯石のセメント質との接合面には立方状の結晶や板状(薄片状)の結晶が沈着しており、とくにEDSによる分析で立方状の結晶にはMgの多いことが認められた(図28)。

唾石の表面には、薄い被膜に覆われた部分や半球状の構造が見られ(図29)、石灰化の高い部位を拡大すると不定形の結晶物が密に沈着していた(図30)。この石灰化の高い部分をEDSによって分析すると、PとCaが主要成分として高いピークを示し(図31)、微量元素としてNa, Mg, Sが検出された(図32)。低石灰化部においてはPとCaが減少し(CaはPを下まわっている)(図33)、極端な場合にはSのみが主要成分となり、微量元素としてNa, Mg, P, Ca, Iが検出された(図34)。唾石の表面を高倍率で観察すると、不定形の結晶物の中に石灰化した菌体と思われる桿状構造物や六方体結晶(hexagonal crystal)が見られた(図35)。WDSによる唾石表面の定性分析ではNa, P, S, Ca, As, Brが検出され(図36)、他に微量ではあるがMg, Cl, Mn, Fe, Zn, Se, In, Sn, Pbが存在していた。唾石のバフ研磨面の組成像によると、その内部構造は中央に核に相当する低石灰部をもち、それを囲むようにして石灰化度の異なる約5つの層から成っていた(図37)。この研磨面において高度な石灰化をしている外殻層(図37, E)をEDSで分析すると、PとCaの高いピークが現われ(図38)、微量元素としてNa, Mg, Sが検出されたがMgは比較的多いようである(図39)。低石灰化部(図37, D)ではPとCaのピークが低くなる反面Sが上昇し(図40)、さらに石灰化の低い部位ではSが主要成分となり微量なCaとIが検出された(図41)。唾石の凍結断面の組成像では、石灰化の高い部分が縞構造や球状構造を呈しており(図42)、2次電子像によって微細顆粒状結晶

表 2 : EPMA (WDS) による歯冠硬化象牙質, 歯石, 唾石の元素分析 (★印が検出された元素)

試料名	部位	元 素 名																										
		F	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Se	Br	Sr	Pd	In	Sn	I	Au	Hg	Pb	
歯冠硬化象牙質	露出表面	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★							
	細管内結晶	★	★	★			★	★	★	★	★																	
歯石	表面	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★				★													
	断面	★	★	★		★	★	★	★	★	★				★													
唾石	表面	★	★	★			★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★			★	★				★	
	断面	★	★	★	★		★	★	★	★	★	★		★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	

(minute granular crystal), 桿状結晶(rod-shaped crystal), 板状結晶(plate-like crystal)およびこれらの結晶が集合した直径約 2 μm の球状体の結晶物が観察された(図43)。WDS によってこの断面を分析すると F, Na, Mg, P, S, Cl, Ca が検出され(図44), 他に Al, Cr, Cu, As, Se, Br, Sr, Pd, In, I, Au, Hg, Pb が認められた。また今回の分析で十分な確認はできなかったが, Ti, Co, Zr, Ag, Cd, Sb, Ba, Bi の存在も示唆された。表 2 には WDS による歯冠硬化象牙質, 歯石および唾石の定性分析結果を示す。

2. EPMA による Contour Map

歯石を樹脂包埋しバフ研磨した面を組成像で観察すると, セメント質にそって高度に石灰化した歯石の沈着が見られた(図45)。この面について Contour map を作成して P と Ca の分布状態を観察すると(図46~49), P および Ca とともに象牙質あるいはセメント質よりも歯石において濃度の高いことが確認された。さらに歯石を拡大して観察すると石灰化度のちがいが縞構造として見られ(図50), この部分の Contour map によると(図51~54), P および Ca とともに歯石の表面近くで濃度が低下し, とくに Ca は縞構造との対比がある程度確認できた。

唾石を樹脂包埋しバフ研磨した面を組成像で観察すると, 低石灰化部の核を中心として石灰化度のちがいが層状構造を作り, 外殻層で最も石灰化が高く観察された(図55)。さらに拡大すると, 比較的石灰化の低い部位では複雑な組成状態を示し(図56), その中で石灰化の高い部分が縞構造として見られた(図57)。唾石研磨面の全体の Contour map について P, S, Ca の分布状態を検索すると(図58~62), 外殻層の高石灰化部には P および Ca が多いが, S はほとんどないことが確認された。次に低石灰化部を拡大し(図63), 同一視野に

おける P, S, Ca の分布状態を X 線像で観察すると(図64~66), 組成像で暗く見えるいわゆる低石灰化部に S が多く, 明るく見える高石灰化部で P および Ca の多いことが認められた。これと同一部位の Contour map をみると(図67~71), 高石灰化部で P と Ca が多く, 低石灰化部で S が多い結果を示し, X 線像に比較してその濃度変化をより明瞭に認識できた。

考 察

1. 結晶物の形態の比較

歯冠硬化象牙質の細管内に沈着する結晶物について, 赤羽, 他(1981)¹⁾は SEM 観察によって形態的に菱面体結晶, 複合体結晶, 角錐形結晶, 階段状結晶, 板状結晶, 立方体結晶, 丸型結晶, 角柱形結晶, 六方体結晶, 微細顆粒状結晶, 桿状結晶に分類している。この中で六方体結晶の存在については確認されなかったもので, Tronstad(1973 b)⁴⁵⁾の SEM による観察を引用したものである。この細管内沈着物の由来について, 枝(1980)⁷⁾や山崎(1981)⁴⁹⁾は唾液を推定しているがまだ結論には至っておらず, その意味において唾液の関与によって形成される歯石および唾石の結晶形態について比較検討することは重要な意義をもつものと思われる。

歯石(あるいは歯垢)を SEM で観察した研究には, 山岡(1971)⁴⁷⁾, Jones(1972 a, b)¹⁹⁾²⁰⁾, Saxton(1973)⁴²⁾, Baumhammers, et al.(1973)³⁾, Galil & Gwinnett(1975)⁹⁾, Lustmann, et al.(1976)²⁹⁾, 本間(1976)¹⁷⁾, Saglie(1977)³⁸⁾, Ooya(1977)³⁷⁾, 佐藤(1977)⁴⁰⁾, 東, 他(1978)¹²⁾, Canis, et al.(1979)⁶⁾, Friskopp & Hammarström(1980)⁸⁾, 佐藤(1981)⁴¹⁾, 片上(1981)²²⁾, Kodaka, et al.(1981)²⁷⁾, 東, 他(1981)¹³⁾, 中川(1981)³⁴⁾などがあり, その結晶形態から立方状結

晶、板状(薄片状)結晶、針状結晶、顆粒状結晶、スポンジ状結晶、桿状あるいは線状の菌体石灰化物などを報告している。著者らの観察によれば立方状結晶、板状結晶、桿状あるいは線状の菌体石灰化物が見られ、とくに図27(割断面)においては新たに六方体結晶を認めることができた。

唾石の SEM による形態的な研究には、川端(1975)²³⁾、平出、他(1978)¹⁴⁾、亀山、他(1979)²¹⁾、川原、他(1979)²⁴⁾、倉地、他(1980)²⁸⁾、北川、他(1980)²⁵⁾、森永(1980)³³⁾などがあり、立方状結晶、板状結晶、顆粒状結晶、桿状あるいは線状構造物のほか、有機質と考えられる核を中心とした層状構造の形成を認めている。中でも森永(1980)³³⁾はこのほかに菱面体結晶、線維状構造物、板状あるいは針状結晶の集合した直径 2~4 μm の球状体結晶、直径が数 10 nm の微細顆粒状結晶などを観察している。著者らの観察では図35に示すように、不定形の結晶物の中に桿状構造物および六方体結晶が認められ、図43においては微細顆粒状結晶、桿状結晶および森永(1980)³³⁾の観察したものと酷似する直径約 2 μm の球状体結晶が見られた。また組成像の観察によって核様物を中心とした層状構造は、明らかに石灰化度のちがいでよって生ずることが確認できた。

以上のことから歯冠硬化象牙質の細管内結晶物と、歯石および唾石との結晶物の形態的比較を行なうと、いずれの場合も立方状結晶(あるいは菱面体結晶)および微細顆粒状結晶の沈着が認められ、三者の結晶物の由来に共通性のあることをうかがわせた。また歯冠硬化象牙質の細管内に形の整った菱面体結晶が多数沈着するのは、その環境が結晶成長に適しているためと考えられる。これに対して歯石および唾石は常に複雑に変化する環境の中で形成されるため、硬化象牙質の細管内には見られない板状(薄片状)結晶、針状結晶、球状体結晶、菌体の石灰化物などが観察されるものと思われる。

2. 定性分析による組成比較

EPMA による元素分析には WDS(波長分散型分光器)法および EDS(エネルギー分散型分光器)法があり、EDS 法は分析時間が短かく試料ダメージが少ないという点から非常に広く利用されている。しかしエネルギー分解能が悪いために近接ピークの分離に難点があり、例えば $\text{NaK}\alpha$ 線と

$\text{ZnL}\alpha \cdot \text{CuL}\alpha$ 線、 $\text{MgK}\alpha$ 線と $\text{AsL}\alpha$ 線、 $\text{AlK}\alpha$ 線と $\text{BrL}\alpha$ 線、 $\text{PK}\alpha$ 線と $\text{OsM}\alpha \cdot \text{PtM}\alpha \cdot \text{AuM}\alpha$ 線、 $\text{SK}\alpha$ 線と $\text{MoL}\alpha \cdot \text{PbM}\alpha \cdot \text{HgM}\alpha$ 線、 $\text{CaK}\alpha$ 線と $\text{SbL}\alpha$ 線などはピークが重なって表示されるため、検出元素の誤認や真のピークの高さによる量的比較が困難となる。もっとも波形のコンピュータ処理によればピーク分離が可能である。それに対し WDS 法は波長分解能が高く(EDS の 10倍以上)、微量元素の検出に適している(検出限界が高い)。したがって著者らは 2つの方法を併用して定性分析を行なった。

歯冠硬化象牙質の細管内結晶物について、木津(1979)²⁶⁾および赤羽、他(1981)¹⁾は EDS による分析で Mg, P, Ca を検出し、とくに赤羽、他(1981)¹⁾は Mg が管間基質より菱面体結晶に多いことを示した。また山崎(1981)⁴⁹⁾は WDS によって Na, Mg, P, S, Cl, K, Ca の存在を認め、著者らも今回の WDS による分析で F, Na, Mg, P, S, Cl, Ca を検出している。さらに著者らは歯冠硬化象牙質の露出表面に認められた沈着物の層と細管内結晶物との組成的な関連性を検索するため、その表面沈着物を WDS によって定性分析したところ、Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ca, Mn, Fe, Zn, Br を検出した。この中で Na, Mg, P, S, Cl, Ca は細管内結晶に存在する元素と一致したが、細管内結晶あるいは歯石および唾石に存在する F は検出されなかった。また他の Al と Zn は歯石および唾石に認められ、Si は歯石に、Mn, Fe, Br は唾石に存在することから硬化象牙質の露出表面は成分的に複雑な状態であることが想像され、それに対し細管内は比較的安定であることが推察された。

次に歯石について、その表面を EDS で分析を行なった中川(1981)³⁴⁾は Na, P, S, Cl, Ca, Zn を検出し、東、他(1981)¹³⁾は乳歯に付着した歯石に P, S, Cl, Ca, Fe, Zn を認めている。また歯石中に見られる六面体結晶(菱面体あるいは立方体結晶)を EDS で分析した Kodaka, et al. (1981)²⁷⁾、東、他(1981)¹³⁾、中川(1981)³⁴⁾は、P, Ca のほか Mg の存在を報告している。また花井(1975)¹¹⁾は WDS によって Na, Mg, P, Cl, Ca, Zn の各元素を検出し、歯石からエナメル質および象牙質に至る間の濃度変化を線分析によって検索している。これらの分析結果をまとめると、歯石に含有する元素として Na, Mg, P, S, Cl, Ca, Fe, Zn が確認

されている。著者らの WDS による分析では、歯石割断面において上記元素中 Fe を除く全ての元素およびそれに加えて F と Si の存在を認め、同時に立方状結晶は Mg を多く含有しているという同様の所見を得た。

他の分析法による歯石の微量元素に関しては、作田(1958)³⁹⁾は蛍光 X 線分析および分光分析により Na, Mg, Al, Si, Ti, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ag, Sn, Sb, Ba, Pb, Bi を検出し、中村(1962)³⁵⁾も同様に蛍光 X 線分析および分光分析から Ag を除いて他は全て作田(1958)³⁹⁾と同じ元素の存在を認めている。この結果と著者らが WDS によって歯石の表面および割断面から検出した微量元素の種類とを比較すると、Na, Mg, Al, Si, Zn は共通しているものの F, S, Cl, K は作田(1958)³⁹⁾および中村(1962)³⁵⁾は認めておらず、逆に Ti, V, Mn, Fe, Ni, Cu, As, Sr, Ag, Sn, Sb, Ba, Pb, Bi については著者らは検出できなかった。WDS によってこれらの微量元素を検出できなかった理由は、今回の分析試料中に全く含まれていなかったかもしくは検出限界を越えた微量な濃度であったと考えられるが、さらに分析条件の選択や分析点数を多くすることによりその存在を検索する必要がある。

唾石を WDS によって定性分析した研究は数多く、久野, 他(1970)¹⁶⁾は Na, Mg, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe, Cu, Zn を、東(1973)²⁾は F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe, Cu, Zn を、鶴貝, 他(1976)⁴⁶⁾は Na, Mg, P, S, Cl, K, Ca, Zn を検出している。また平出, 他(1978)¹⁴⁾は Na, Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Cr, Mn を、川原, 他(1979)²⁴⁾は S, Ca, In を検出し、倉地, 他(1980)²⁸⁾は EDS によって P, S, Ca のほか表面に Mg, Si, Cl, Cu, Zn の存在を認めている。さらに WDS の定性分析によって森永(1980)³³⁾は Mg, P, S, Cl, K, Ca を、平野, 他(1981)¹⁵⁾は Mg, Si, P, S, Cl, Ca, Fe を検出している。これらの分析結果を総合すると、唾石の構成元素として F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, In が挙げられる。著者らの WDS による唾石の表面および割断面の定性分析では、上記唾石の構成元素中 Si と K を除いては全て同様に確認されており、さらに As, Se, Br, Sr, Pd, Sn, I, Au, Hg, Pb, も検出し得た。

他の分析法による唾石の微量元素として、

Glock&Murray (1938)¹⁰⁾が分光分析により Na, Mg, Al, Si, Cr, Cu, Zn, Sr, Ag, Sn, Ba, Pb を検出し、吉岡(1958)⁵⁰⁾は蛍光 X 線分析および分光分析で Na, Mg, Al, Si, K, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Ag, Sn, Ba, Hg, Pb, Bi を認めている。また中村(1962)³⁵⁾も蛍光 X 線分析および分光分析により、Na, Mg, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Sn, Ba, Hg, Pb, Bi を検出している。従って著者らの分析結果と上述した三者の報告とをさらに比較すると、As, Se, Br, Pd, I, Au は今回の分析によって新たにその存在が認められたが、Ti, V, Co, Ni, Ag, Ba, Bi は検出できなかったといえることができる。

以上の結果から、歯冠硬化象牙質の細管内結晶物の組成を歯石および唾石と比較してみると、細管内結晶物に存在していた F, Na, Mg, P, S, Cl, Ca の各元素は歯石および唾石ともに存在していたが、とくに歯石(割断面)については Si と Zn を除けば全く同様な組成を示し、このことから硬化象牙質の細管内結晶物は形態的な類似点も合せ、その由来を唾液に求め得ることが示唆された。表 3(次頁)には EPMA による歯冠硬化象牙質の細管内結晶物と歯石および唾石の元素分析の比較をまとめて示す。

3. 歯石と唾石の Contour Map

EPMA による元素分析において、その濃度変化を検索する方法として点分析(定性・定量)、線分析(定性)、面分析(定性)などがあり、とくに 2 次元的な濃度分布を知るには面分析が適している。しかしながら一般に行なわれている面分析では元素の分布状態を単なる白黒の濃淡としてしか表示できず、微量な濃度差を検索することは望めない。また WDS による分析は分光結晶を使用しているため、微小領域から発生した X 線は効率良く検出されるが、低倍率(数百倍以下)で面分析をした場合その端の部分から発生した X 線の何割かは分光結晶からはずれてしまい、X 線強度が真の値より低下するため正確な元素の濃度分布を知ることが困難となる。つまりこの方法ではおのずと分析領域に限界が生じ、低倍率での面分析には不適當であると言える。この問題を解決し、さらに精度の高い 2 次元組成分析を可能にしたのがコンピュータ・コントロールによる Contour

表3：EPMAによる歯冠硬化象牙質の細管内結晶物、歯石、唾石の元素分析比較

試料 報告者 元素 分析法	硬化象牙質 細管内結晶				歯石					唾石								
	木	山	赤羽	著者	花	小高	東・他	中川	著者	久野	東	鶴貝	平出	川原	倉地	森永	平野	著者
	津	崎	他	ら	井	他	他	川	ら	他	他	他	他	他	他	永	他	ら
	79	81	81	82	75	81	81	81	82	70	73	76	78	79	80	80	81	82
	E	W	E	W	W	E	E	E	W	W	W	W	W	W	E	W	W	W
F				○					○		○							○
Na			○	○	○			△	○	○	○	○	○					○
Mg	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		△	○	○	○
Al									△		○		○					○
Si									○	○	○				△		○	
P	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○
S			○	○				○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Cl			○	○	○		○	△	○	○	○	○	○		△	○	○	○
K			○						△	○	○	○	○			○		
Ca	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Cr													○					○
Mn													○					△
Fe								○		○	○						○	△
Cu										○	○				△			○
Zn					○		○	△	○	○	○	○			△			△
As																		○
Se																		○
Br																		○
Sr																		○
Pd																		○
In														○				○
Sn																		△
I																		○
Au																		○
Hg																		○
Pb																		○

注 ○印が検出された元素、△印はその試料表面のみで検出された元素を示す。
 Eはエネルギー分散型分光器 (EDS), Wは波長分散型分光器 (WDS)
 表中の小高・他は、本文中のKodaka, et al. である。
 著者名の下の数字は1900何年を示す。

map 法である。すなわち Contour map 法は試料位置を最小 1 μm ステップまで移動できるので、極低倍率から高倍率まで任意の面積の分析が可能であり、しかも各測定点の X 線強度を一定レベルごとに記号化して表示できるためその濃度分布について半定量的な検索ができ、さらに記号別に色分けすればいわゆる等高線図 (Contour map) として、より明確な分布状態を認識できる。

Contour map 法を応用した研究には小野塚, 他 (1978)³⁶⁾ の神経細胞内カルシウム分布変動や, Bocharova, et al. (1978)⁴⁾ の金属材料に関するものがみられるが、比較的少ない。著者らは Contour map 法を歯石および唾石の組成分析に応用したところ、含有元素の濃度分布を従来の面分析法に比較して非常に明瞭にしかも詳細にとらえることができた。

唾石の組成分析において、久野, 他 (1970)¹⁶⁾ は Ca, P, S の線分析の結果から Ca, P はほぼ平行に分布しているが、S は Ca, P とは関係なくほぼ一様に分布していると報告した。東 (1973)²⁾ も同様の所見を得ているが、さらにマイクロラジオグラフィによって高石灰化像としてみられる部位では Ca, P とともに濃度は高くなるが、S は石灰化度には無関係としている。今回の著者らの観察によれば、図 55, 58~60 に示すように組成像において石灰化度の高くみられる部位では Ca, P とともに増加し、久野, 他 (1970)¹⁶⁾ および東 (1973)²⁾ と同様の所見であるが、S については Ca, P とは逆に低石灰化部で増加していたのである。また亀山, 他 (1979)²¹⁾ は組成像でみられる唾石の層状構造について、それが化学成分の差によるものかどうかを Ca, P の面分析あるいは線分析によって検索したところ、ともに全体的に均一な分布を示したため成分の差によるものではなく、構造上の凹凸によるものとしている。しかし今回の観察によって組成像および P, S, Ca の面分析 (図 63~66) から石灰化度の高い部位では P, Ca が多く S は少ないが、石灰化度の低い所では P, Ca が減少し S が多くなり、これが層状構造となることを明らかにした。さらに同様な部位の Contour map により、X 線像に比較して P, S, Ca の濃度分布がより明瞭となることを示した。今後は Contour map 法に定量分析を加えることにより、さらに有効な組成分析法になることが期待される。

結 論

咬耗による歯冠硬化象牙質の細管内沈着物の由来を検索するため、その硬化象牙質ならびに歯石と唾石を走査電子顕微鏡によって比較観察し、さらに EPMA (EDS および WDS) による定性分析と Contour map 法による元素の濃度分布を比較検討し次の如き結論を得た。

1. 硬化象牙質の露出表面は微細な結晶などの沈着物によって覆われ、その組成元素として Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ca, Mn, Fe, Zn, Br, が検出された。

2. 硬化象牙質の細管内には菱面体結晶が多数沈着し、その組成元素として F, Na, Mg, P, S, Cl, Ca が検出された。

3. 歯石の表面には低石灰化部と高石灰化部があり、線状の菌体およびその石灰化物が観察された。また表面の組成元素として F, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Zn が検出され、とくに S は低石灰化部に多く存在していた。

4. 歯石の断面では石灰化の層状構造が多様にみられ、菌体の石灰化物 (桿状構造)、板状結晶、立方体結晶、立方状結晶が観察された。また組成元素として F, Na, Mg, Si, P, S, Cl, Ca, Zn が検出され、とくに Mg は結晶物に多く存在していた。

5. 唾石の表面には被膜構造や、不定形あるいは六方体結晶および桿状構造物がみられた。また表面の組成元素として Na, Mg, P, S, Cl, Ca, Mn, Fe, Zn, As, Se, Br, In, Sn, Pb が認められた。

6. 唾石の断面では低石灰化部と高石灰化部が層構造をなし、微細顆粒状結晶、桿状結晶、板状結晶、球状体結晶が観察された。また組成元素として F, Na, Mg, Al, P, S, Cl, Ca, Cr, Cu, As, Se, Br, Sr, Pd, In, I, Au, Hg, Pb が検出され、とくに S は低石灰化部に多く存在していた。

7. 歯石の Contour map では、P, Ca とともにセメント質あるいは象牙質より歯石部において濃度の高いことが 2 次的に確認できた。とくに Ca は石灰化の層状構造との対比がある程度認識できた。

8. 唾石の Contour map では、低石灰化部と高石灰化部の層に対応した P, S, Ca の濃度分布が、X 線像に比較してより明瞭に観察できた。

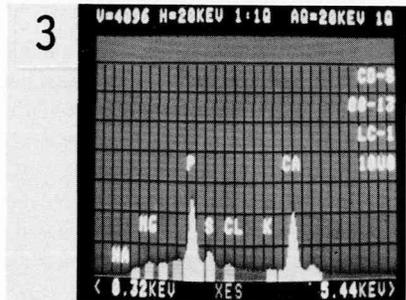
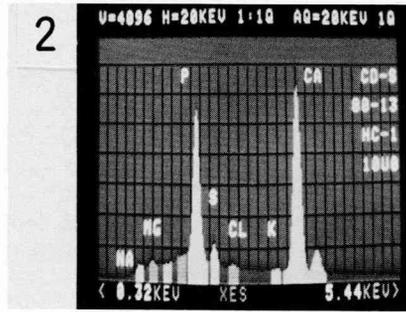
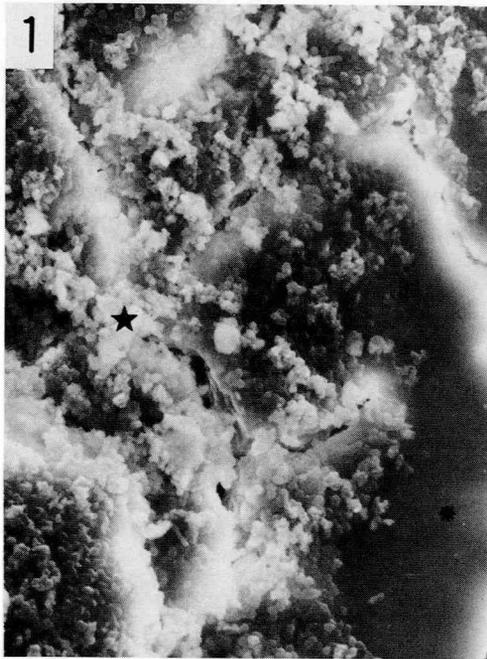
9. 歯冠硬化象牙質の細管内結晶物は形態的および組成的に歯石と比較的類似しているため、その由来は唾液であると思われた。

文 献

- 1) 赤羽章司, 枝 重夫, 川上敏行, 林 俊子, 中村千仁, 河住 信 (1981) 硬化象牙質に関する電子顕微鏡的研究, 第1報. 歯冠硬化象牙質の細管内の沈着物と線維について. 松本歯学, 7: 238—258.
- 2) 東 俊雄 (1973) X線マイクロアナライザによる唾石の分析. 歯学, 61: 124—164.
- 3) Baumhammers, A., Conway, J. C., Saltzberg, D. and Matta, R. K. (1973) Scanning electron microscopy of supragingival calculus. J. Periodontol. 44: 92—95.
- 4) Bocharova, G. I., Garanin, V. K., Jilyaeva, V. A., Kudryavtseva, G. P. and Ponomarenko, A. I. (1978) New data on exsolution lamellae in picroilmenites from jakutia kimberlite pipes. JEOL News. 16: 18—24.
- 5) Brännström, M. and Garberoglio, R. (1980) Occlusion of dentinal tubules under superficial attrited dentine. Swed. dent. J. 4: 87—91.
- 6) Canis, M. F., Kramer, G. M. and Pameijer, C. M. (1979) Calculus attachment. J. Periodontol. 50: 406—415.
- 7) 枝 重夫 (1980) 歯牙硬組織の増齢的变化. 歯界展望, 56: 893—903.
- 8) Friskopp, J. and Hammarström, L. (1980) A comparative, scanning electron microscopic study of supragingival and subgingival calculus. J. Periodontol. 51: 553—562.
- 9) Galil, K. A. and Gwinnett, A. J. (1975) Human tooth-fissure contents and their progressive mineralization. Archs oral Biol. 20: 559—562.
- 10) Glock, G. E. and Murray, M. M. (1938) Chemical investigation of salivary calculus. J. dent. Res. 17: 257—264.
- 11) 花井美智子 (1975) 歯石に関する組織学的研究. 歯科学報, 75: 1304—1341.
- 12) 東 昇平, 小高鉄男, 小林美由紀, 井村哲子, 中川宏明 (1978) 歯石がセメント質におよぼす影響についての組織学的研究. 歯基礎誌, 20: 669—689.
- 13) 東 昇平, 川原哲子, 中川武幸, 中島史和, 花井美智子, 小高鉄男, 鈴木康生, 佐々竜二 (1981) 乳歯に附着した歯石の組織学的研究. 小児歯誌, 19: 448—460.
- 14) 平出文久, 野村恭也 (1978) 唾石の形態学的観察. 耳喉, 50: 241—248.
- 15) 平野吉雄, 橋本昌典, 宮原慎児, 岩崎 均, 太田隆夫, 村田睦男 (1981) エレクトロンプローブ・X線マイクロアナライザによる唾石成分の解析. 口科誌, 30: 359—367.
- 16) 久野吉雄, 東 俊雄, 小林一彦, 三崎正春 (1970) 長大な顎下腺管唾石症の1症例とその electron microprobe x-ray analyzer による分析成績. 口外誌, 16: 189—193.
- 17) 本間隆義, 遠藤隼人, 高塩 稔, 伊藤信明 (1976) 歯石の走査型電顕による観察. 口科誌, 25: 422—430.
- 18) 井上 廣, 藤 英俊, 明坂年隆, 田村尚治 (1981) 象牙質の電顕的観察, 1. dead tract 部象牙細管内の結晶形態. 福岡歯学誌, 8: 194—200.
- 19) Jones, S. J. (1972a) A special relationship between spherical and filamentous microorganisms in mature human dental plaque. Archs oral Biol. 17: 613—616.
- 20) Jones, S. J. (1972b) The tooth surface in periodontal disease. Dent. Practit. 22: 462—473.
- 21) 亀山忠光, 森永 太, 川原秀樹, 本川和寿, 北川博一, 朱雀直道, 渡辺 隆 (1979) 自然排出した大きな唾石症の1例. 口科誌, 28: 269—275.
- 22) 片上道範 (1981) 歯苔と歯石断面ならびに歯質付着面の走査電顕による観察. 日大歯学, 55: 386—393.
- 23) 川端五十鈴, 武藤二郎 (1975) 唾石の走査電顕像. 耳鼻, 21: 68—69.
- 24) 川原秀樹, 亀山忠光, 森永 太, 宮城 巧, 朱雀直道 (1979) 小唾液腺唾石症の1例. 口外誌, 25: 335—340.
- 25) 北川博一, 二見正人, 喜多清基, 森永 太, 亀山忠光, 朱雀直道 (1980) 耳下腺管内唾石症の2例. 口科誌, 29: 125—132.
- 26) 木津健夫 (1979) Dead tract 部象牙細管の走査電顕による観察. 日大歯学, 53: 50—55.
- 27) Kodaka, T., Debari, K. and Higashi, S. (1981) Crystals composed of Ca, P and Mg in human dental calculi. J. Electron Microsc. 30: 238.
- 28) 倉地洋一, 松本英彦, 南雲正男, 榎本昭二, 滝口励司 (1980) 走査電子顕微鏡による唾石の観察. 口外誌, 26: 945—951.
- 29) Lustmann, J., Lewin-Epstein, J. and Shteyer, A. (1976) Scanning electron microscopy of dental calculus. Calc. tiss. Res. 21: 47—55.
- 30) Mendis, B. R. R. N. and Darling, A. I. (1979) A scanning electron microscope and microradiographic study of closure of human coronal dentinal tubules related to occlusal attrition and caries. Archs oral Biol. 24: 725—733.
- 31) 見明 清 (1978) 歯の局所微細構造について—老化に対する超微細構造的变化. 歯科学報, 78: 353—367.

- 32) 見明 清 (1979) 増齢に伴う歯牙の変化—硬組織と歯髓について. 日歯評論, 440: 34—44.
- 33) 森永 太 (1980) 走査型電子顕微鏡による唾石の微細構造の観察. 口科誌, 29: 254—267.
- 34) 中川宏明 (1981) ヒト歯石の光学顕微鏡, 走査電子顕微鏡およびX線マイクロアナライザによる形態学的研究. 昭歯誌, 1: 37—62.
- 35) 中村博司 (1962) 歯石と唾石との硬組織の組成に関する物理化学的比較研究. 歯科医学, 25: 246—264.
- 36) 小野塚実, 管谷英一 (1978) X線マイクロアナライザ (XMA) の生物・医学への応用. 神奈川歯学, 13: 96—105.
- 37) Ooya, K. (1977) A scanning electron microscopic study on the differences between newly erupted teeth and old teeth with reference to fissure enamel surfaces and contents. Bull. Tokyo med. dent. Univ. 24: 89—102.
- 38) Saglie, R. (1977) A scanning electron microscopic study of the relationship between the most apically located subgingival plaque and the epithelial attachment. J. Periodontol. 48: 105—115.
- 39) 作田直之助 (1958) 歯石の物理化学的研究. 歯科医学, 21: 467—486.
- 40) 佐藤蔵六 (1977) 歯石の部位, 構造と石灰化像の関連について. 歯学, 65: 139—180.
- 41) 佐藤孝治 (1981) 走査電子顕微鏡による歯苔ならびに歯石表面の観察. 日大歯学, 55: 190—198.
- 42) Saxton, C. A. (1973) Scanning electron microscope study of the formation of dental plaque. Caries Res. 7: 102—119.
- 43) Toda, Y., Shirato, M., Tohnai, K., Fujii, H., Iesato, S., Takehana, S. and Ito, A. (1980) A scanning electron microscopic study of dental tubules in dead tracts. J. Nihon Univ. Sch. Dent. 22: 1—9.
- 44) Tronstad, L. (1973a) Ultrastructural observations on human coronal dentin. Scand. J. dent. Res. 81: 101—111.
- 45) Tronstad, L. (1973b) Scanning electron microscopy of attrited dentinal surfaces and subjacent dentin in human teeth. Scand. J. dent. Res. 81: 112—122.
- 46) 鶴貝隆男, 森下正教, 小椋教順, 細田裕康 (1976) 巨大なる Wharton 氏管内唾石症の1症例とその無機成分について. 新潟歯学誌, 6: 77—82.
- 47) 山岡 昭, 西村茂宏, 田治米保夫, 横山邦生, 佐川寛典, 真下博敏 (1971) 歯石, 歯根面ならびに歯石除去後の歯根面の走査型電子顕微鏡による観察, 1. 歯石および歯石付着部根面像について. 歯科医学, 34: 341—350.
- 48) 山崎芳昭 (1980) 乳歯の Dead tract 部象牙細管の走査電顕による観察. 日大歯学, 54: 403—408.
- 49) 山崎喜之 (1981) 高齢者の歯牙による歯冠および歯根の硬化象牙質に関する電子顕微鏡的研究. 松本歯学, 7: 16—49.
- 50) 吉岡新一 (1958) X線回折, X線蛍光分析ならびに分光分析による唾石の結晶構造および含有微量元素の検出についての研究. 日本体質学会誌, 23: 230—248.

【付図は次頁より】



4 NO. 37

PROBE CURRENT ! 1.080E-08 (A)
STAGE POS. : X 23774 Y 24634 Z 10719

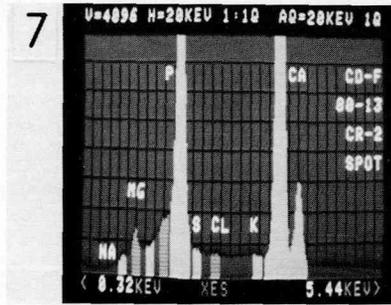
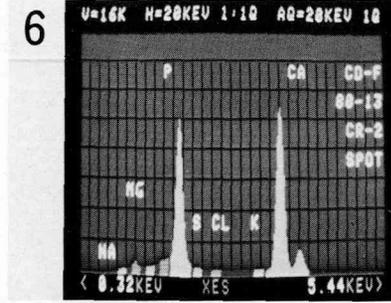
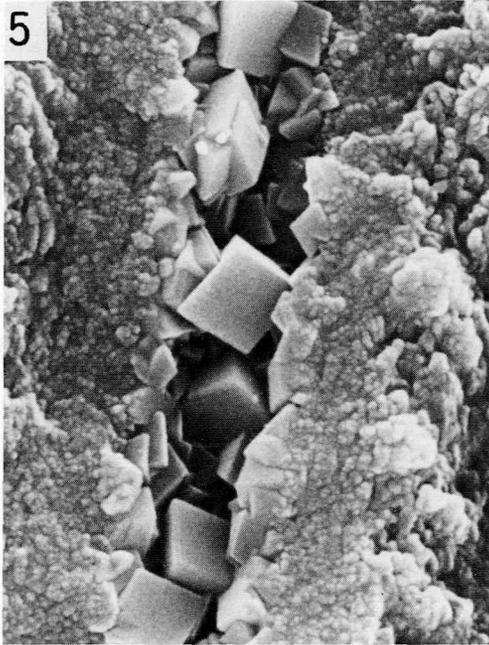
CH(1) TAP				CH(2) PET				CH(3) LIF			
EL	WL	COUNT	INTENSITY(LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY(LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY(LOG)
Y	6.45	18	*****	TI	2.75	5	****	BI	1.14	3	***
RE	6.73	101	*****	BA	2.78	4	****	PB	1.17	4	****
SR	6.86	17	*****	CS	2.89	3	***	TL	1.21	3	***
W	6.98	16	*****	SC	3.03	4	****	MG	1.24	2	**
SI	7.13	16	*****	I	3.15	5	****	AU	1.28	6	****
TA	7.25	9	*****	TE	3.29	4	****	PT	1.31	3	***
RB	7.32	10	*****	CA	3.36	360	*****	IR	1.35	3	***
HF	7.54	14	*****	SB	3.44	3	**	OS	1.39	3	***
LU	7.84	10	*****	SN	3.60	2	**	ZN	1.44	3	***
YB	8.15	6	*****	K	3.74	4	****	CU	1.54	4	****
AL	8.34	14	*****	IN	3.77	0		NI	1.66	3	***
BR	8.37	12	*****	U	3.91	3	**	TM	1.73	3	***
ER	8.82	4	****	CD	3.96	2	**	CO	1.79	2	**
SE	8.99	7	****	TH	4.14	1	*	FE	1.94	8	++++
HD	9.20	5	****	AG	4.15	1	+	GD	2.05	3	+++
DY	9.59	6	****	FD	4.37	1	*	MN	2.10	3	+++
AS	9.67	6	****	RH	4.60	1	*	EU	2.12	2	**
MG	9.89	18	*****	CL	4.73	5	****	SM	2.20	1	+
TR	10.00	6	****	RU	4.85	1	*	CR	2.29	1	+
GE	10.44	4	****	S	5.37	10	++++	ND	2.37	1	*
GA	11.29	2	**	HO	5.41	0		FR	2.46	1	*
NA	11.91	4	****	NB	5.72	1	+	V	2.50	0	
**	15.80	0		ZR	6.07	1	+	CE	2.56	1	*
F	18.32	0		P	6.16	32	+++++	LA	2.67	0	

RESULTS:

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PRESENT
MG P S CA MN FE

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PROBABLY PRESENT
NA AL CL BR

- 図1：咬耗により露出した歯冠硬化象牙質の表面のSEM2次電子像。以下、とくにことわらない限りすべてSEM2次電子像である。表面は沈着物によって覆われ、平坦な部分(金米糖印)あるいは結晶物(星印)が見られる。(65才, ♂, [1]) × 2,000
- 図2：図1の結晶物(星印)のEDSによる定性分析スペクトル。Na, Mg, P, S, Cl, Caが検出され、とくにPとCaは多い。
- 図3：図1の平坦部(丸印)のEDSによる定性分析スペクトル。結晶物と同一な元素が検出されているが、PおよびCaの量は減少し、しかもCaはPのピークを下まわっている。
- 図4：図1と同一表面のWDSによる定性分析。Na, Mg, Al, P, S, Cl, Ca, Mn, Fe, Brがある。



8 NO. 1

PRDRE CURRENT : 1.450E-08 (A)
STAGE POS. : X 13151 Y 17168 Z 11463

CH(1) TAP				CH(2) PET				CH(3) LIF			
EL	WL	COUNT	INTENSITY(LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY(LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY(LOG)
Y	6.45	39	*****	TI	2.75	7	*****	BI	1.14	6	****
RE	6.73	400	*****++++	BA	2.78	8	*****	FB	1.17	6	****
SR	6.86	28	*****	CS	2.89	8	*****	TL	1.21	6	****
W	6.98	24	*****	SC	3.03	7	*****	HG	1.24	6	****
SI	7.13	28	*****	I	3.15	9	*****	AU	1.28	8	*****
TA	7.25	27	*****	TE	3.29	9	*****	PT	1.31	5	****
KB	7.32	27	*****	CA	3.36	1684	*****++++	IR	1.35	8	*****
HF	7.54	19	*****	SE	3.44	7	*****	OS	1.39	7	*****
LU	7.84	13	*****	SN	3.60	4	****	ZN	1.44	5	****
YB	8.15	13	*****	K	3.74	5	****	CU	1.54	4	****
AL	8.34	12	*****	IN	3.77	3	***	NI	1.66	6	****
BR	8.37	15	*****	U	3.91	3	***	TA	1.73	4	****
ER	8.82	12	*****	CD	3.96	3	***	CO	1.79	3	***
SE	8.99	11	*****	TH	4.14	1	*	FE	1.94	3	***
HU	9.20	7	*****	AG	4.15	2	**	GB	2.05	3	***
IY	9.59	12	*****	PD	4.37	1	*	MN	2.10	3	***
AS	9.67	8	*****	RH	4.60	2	**	EU	2.12	3	***
MG	9.89	124	*****++++	CL	4.73	1	*	SM	2.20	2	**
TR	10.00	10	*****	RU	4.85	3	***	CR	2.29	0	
GE	10.44	5	****	S	5.37	2	**	ND	2.37	1	*
GA	11.29	3	***	MO	5.41	1	*	PR	2.46	2	**
NA	11.91	13	*****	NB	5.72	1	*	V	2.50	1	*
**	15.60	1	*	ZR	6.07	0		CE	2.56	0	
F	18.32	3	***	P	6.16	128	*****++++	LA	2.67	1	*

RESULTS:

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PRESENT
NA MG F CA

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PROBABLY PRESENT

図5: 咬耗により露出した歯冠硬化象牙質の断面。細管内には、大きな菱面体結晶が多数沈着している。(75才, ♂, 1) × 20,000

図6: 菱面体結晶のEDSによる定性分析スペクトル。PおよびCaが高いピークを示す。(65才, ♂, 1)

図7: 図6の拡大スペクトル。PとCaのほか、NaおよびMgが存在している。

図8: 菱面体結晶のWDSによる定性分析。Na, Mg, P, Caが検出されている。(65才, ♂, 1)

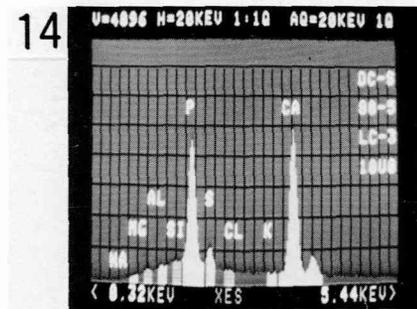
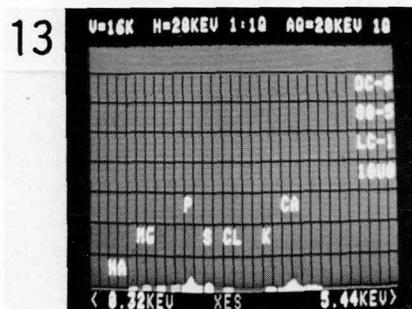
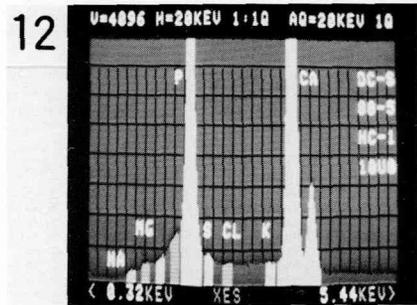
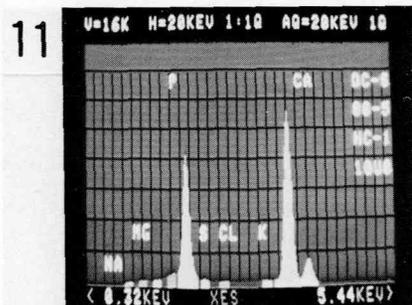
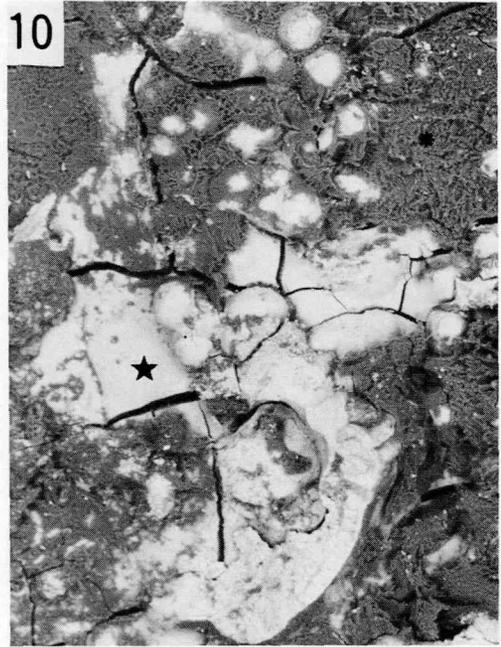
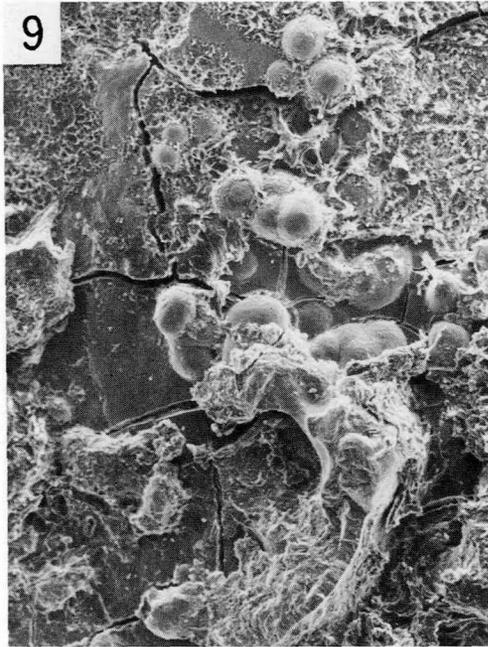
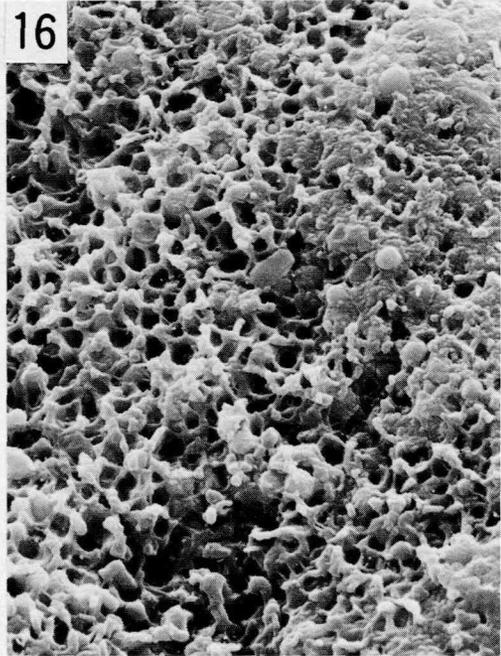
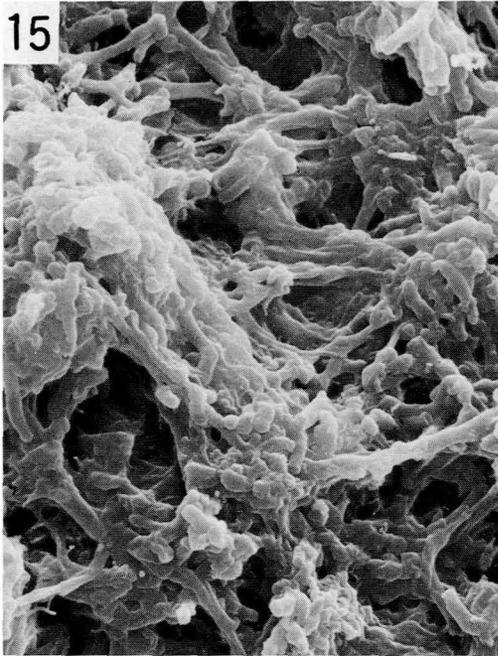


図9：歯石の表面。表面は網目状を呈し、その中に平坦な部分や球状物がある。(78才，♀， $\bar{1}$) $\times 50$
 図10：図9と同一部分の組成像。2次電子像で平坦に見える部分あるいは球状物では石灰化が高い。 $\times 50$
 図11, 12：図10の高石灰化部(星印)のEDSによる定性分析スペクトル。PとCaが高いピークを示し
 (図11)，スペクトルを拡大すると、微量ながらNa, Mg, Sが存在する。
 図13, 14：図10の低石灰化部(丸印)のEDSによる定性分析スペクトル。PとCaのピークが非常に低く
 なるが(図13)，拡大するとNa, Mg, Al, Si, Sが認められ、とくにSは高石灰化部より高い。



17 NO. 6

PROBE CURRENT : 1.040E-08 (A)
STAGE POS. : X 7493 Y 30523 Z 11267

CH(1) TAP				CH(2) PET				CH(3) LIF			
EL	WL	COUNT	INTENSITY (LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY (LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY (LOG)
Y	6.45	14	*****	TI	2.75	6	****	BI	1.14	6	****
RE	6.73	232	*****+++++	BA	2.70	5	****	FR	1.17	3	***
SR	6.04	15	*****	CS	2.89	9	*****	TL	1.21	3	***
W	6.98	18	*****	SC	3.03	7	*****	HG	1.24	5	****
SI	7.13	16	*****	I	3.15	7	*****	AU	1.28	4	****
TA	7.25	15	*****	TE	3.29	6	****	PT	1.31	6	****
RB	7.32	10	*****	CA	3.36	1214	*****+++++	IR	1.35	5	****
HF	7.54	12	*****	SR	3.44	7	*****	OS	1.39	5	****
LU	7.84	12	*****	SN	3.60	3	***	ZN	1.44	5	****
YR	8.15	10	*****	K	3.74	3	***	CU	1.54	6	****
AL	8.34	17	*****+	TN	3.77	4	****	NI	1.66	4	****
BR	8.37	9	*****	U	3.91	2	**	TM	1.73	4	****
ER	8.82	9	*****	CD	3.96	3	**+	CO	1.79	4	****
SE	8.99	7	*****	TH	4.14	3	***	FE	1.94	3	***
HO	9.20	8	*****	AG	4.15	3	**+	GD	2.05	2	++
DY	9.59	4	****	PD	4.37	0		MN	2.10	2	**
AS	9.67	4	****	RH	4.60	2	**	EU	2.12	1	*
HG	9.89	26	*****++++	CL	4.73	2	**	SM	2.20	1	+
TR	10.00	6	****	RU	4.85	1	+	CR	2.29	3	**+
GE	10.44	5	****	S	5.37	5	**++	ND	2.37	1	*
GA	11.29	1	*	MO	5.41	2	**+	FR	2.46	1	+
NA	11.91	11	*****	NB	5.72	1	*	V	2.50	0	
**	15.80	0		ZR	6.07	1	*	CE	2.56	1	f
F	18.32	3	+++	P	6.16	57	*****++++	LA	2.67	1	+

RESULTS:

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PRESENT
F NA MG P CA

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PROBABLY PRESENT
AL S

図15: 歯石の表面。線状の菌体が多数からみ合っている。(71才, ♀, |5) × 4,000

図16: 歯石の表面。菌体の外殻が蜂巣状を呈し、一部は石灰化物の沈着によって埋没している。(78才, ♀, |1) × 4,000

図17: 歯石の表面のWDSによる定性分析(図10, 星印の高石灰化物)。PとCaのほか、微量元素としてF, Na, Mg, Al, Sが認められる。

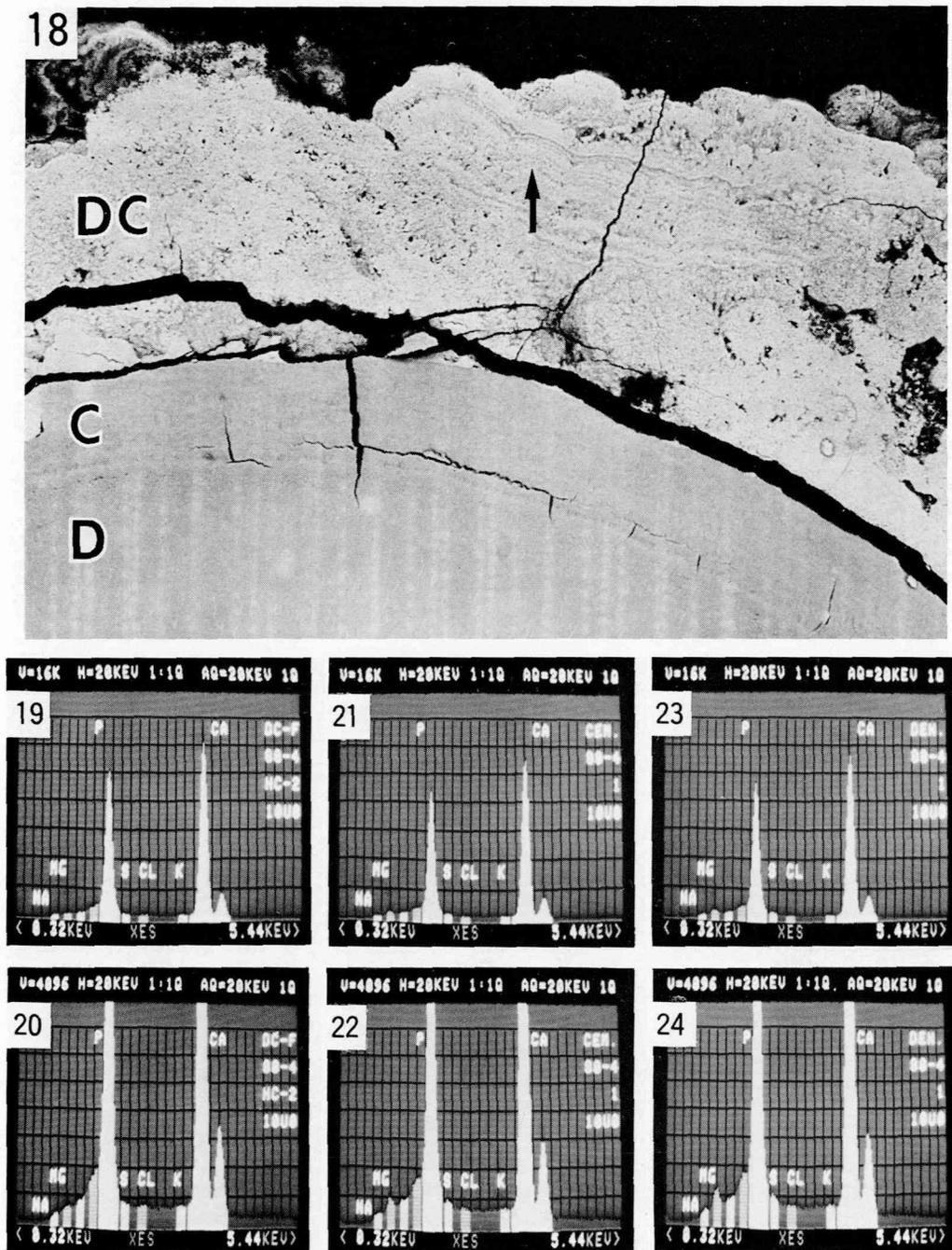


図18：歯石のパフ研磨面の組成像。歯石 (DC)，セメント質 (C)，象牙質 (D) が3層として観察される。中でも歯石は石灰化が高く、層状構造として見られる (矢印)。(78才，♀， $\bar{1}$) $\times 160$

図19，20：図18の歯石のEDSによる定性分析スペクトル。PとCaのピークが見られ (図19)，そのスペクトルを拡大するとNaおよびMgのピークも認められる。

図21，22：図18のセメント質のEDSによる定性分析スペクトル。歯石に比較してPとCaのピークが低下しているが (図21)，Mgは高くなっている (図22)。

図23，24：図18の象牙質のEDSによる定性分析スペクトル。PとCaのピークはセメント質と同程度であるが (図23)，Mgはさらに高くなっている (図24)。



26 NO. 3

PROBE CURRENT : 1.040E-08 (A)
STAGE FOS. : X 20277 Y 34095 Z 11233

CH(1) TAP				CH(2) PET				CH(3) LIF			
EL	WL	COUNT	INTENSITY(LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY(LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY(1.06)
Y	6.45	30	*****	TI	2.75	5	****	RI	1.14	5	****
RE	6.73	270	*****++++	BA	2.78	5	****	FR	1.17	4	****
SR	6.86	20	*****	CS	2.89	8	****	TL	1.21	4	****
W	6.98	23	*****	SC	3.03	7	****	HG	1.24	3	***
SI	7.13	27	*****	I	3.15	9	****	AU	1.28	6	****
TA	7.25	21	*****	TE	3.29	4	****	FT	1.31	7	****
RB	7.32	23	*****	Ca	3.36	1180	*****++++	IR	1.35	6	****
HF	7.54	18	*****	SR	3.44	6	****	OS	1.39	6	****
LU	7.84	14	*****	SN	3.60	3	***	ZN	1.44	10	****
YR	8.15	15	*****	K	3.74	3	**	CU	1.54	4	****
AL	8.34	13	*****	IN	3.77	3	**	NI	1.66	2	**
PR	8.37	15	*****	U	3.91	2	**	TM	1.73	6	****
ER	8.82	8	*****	CD	3.96	2	**	GO	1.79	2	**
SE	8.99	12	*****	TH	4.14	0		FE	1.94	2	**
HD	9.20	9	*****	AG	4.15	1	*	GD	2.05	3	**
DY	9.59	10	*****	FD	4.37	3	**	MN	2.10	1	*
AS	9.67	9	*****	RH	4.60	2	**	EU	2.12	3	**
MG	9.89	49	*****	CL	4.73	3	**	SM	2.20	1	+
TR	10.00	10	*****	RU	4.85	2	**	CR	2.29	1	*
GE	10.44	4	****	S	5.37	4	****	ND	2.37	1	*
GA	11.29	4	****	MD	5.41	0		FR	2.46	1	*
NA	11.91	22	*****	NB	5.72	0		V	2.50	0	
**	15.80	2	**	ZR	6.07	1	+	CE	2.56	0	
F	18.32	3	+++	P	6.16	59	*****	LA	2.67	1	+

RESULTS:

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PRESENT
F NA MG P S CA

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PROBABLY PRESENT
ZN

図25：歯石の断面。菌体の脱け殻が多数見られるが、全体としては石灰化物が密に沈着している。

下方には板状結晶の成長も認められる（矢印）。（66才，♂， $\sqrt{2}$ ） $\times 6,000$

図26：歯石の断面のWDSによる定性分析結果。F, Na, Mg, P, S, Caのほか、Znが認められる。

（78才，♀， $\sqrt{1}$ ）

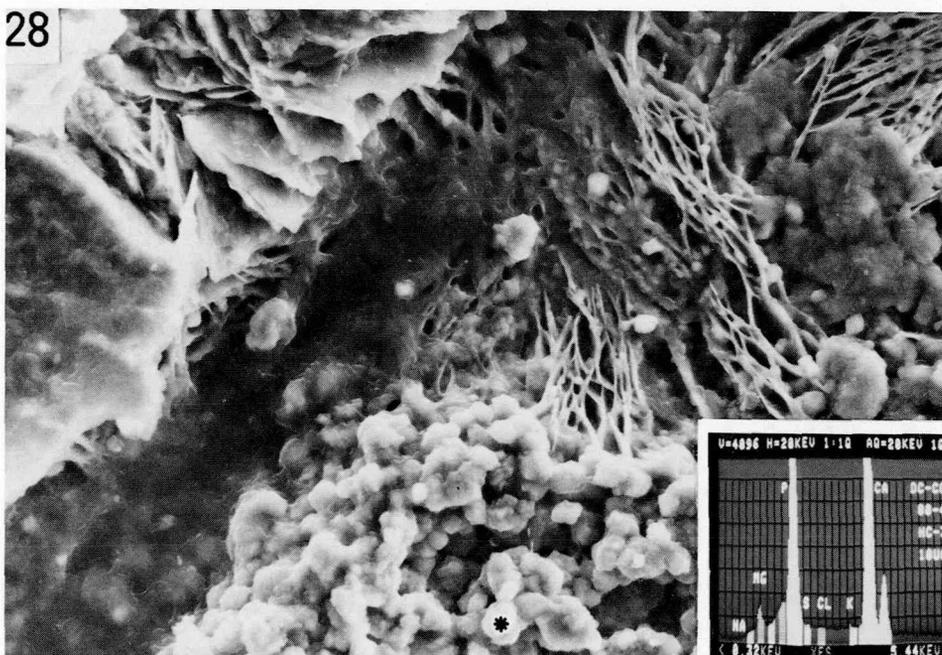
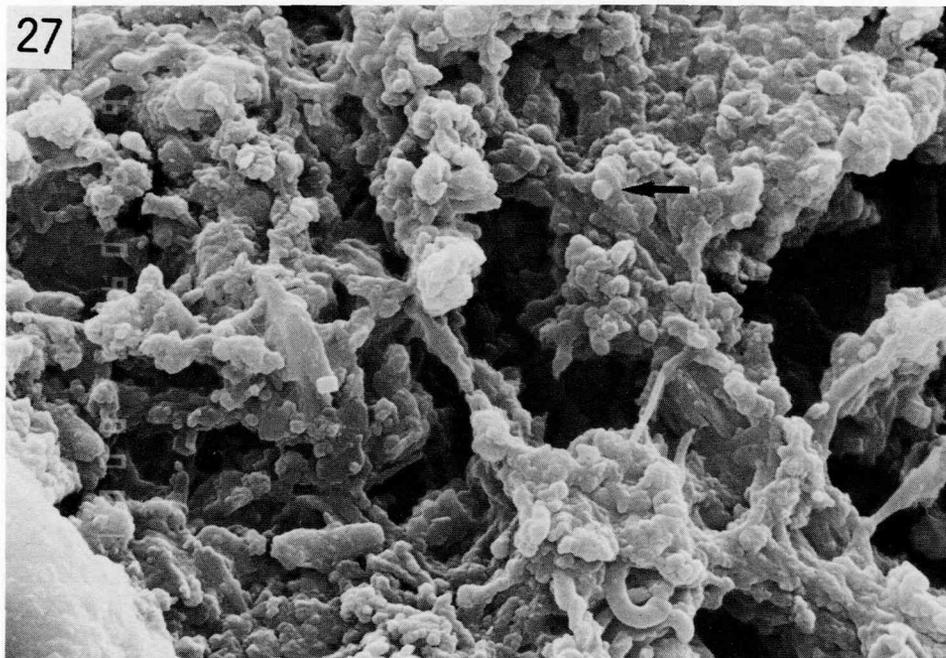


図27：歯石の断面。全体的に石灰化物の沈着がある。下方には桿状の構造物，上方には六方体結晶（矢印）が観察される。（71才，♀， $\bar{5}$ ） $\times 8,000$

図28：歯石のセメント質との接合面。下方に立方状結晶，中央より上方に多様な板状（薄片状）結晶がある。（78才，♀， $\bar{1}$ ） $\times 2,000$ 挿入図は立方状結晶（金米糖印）のEDSによる定性分析スペクトル。PとCa以外では，とくにMgのピークが高くなっている。

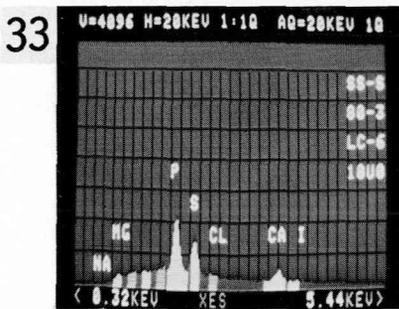
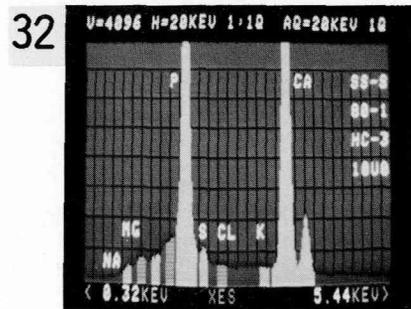
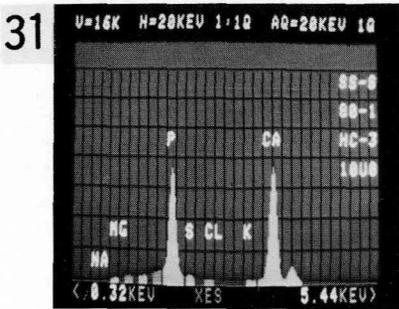
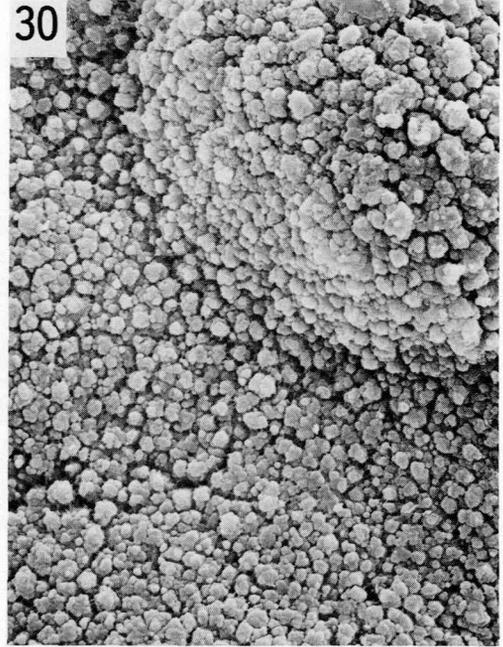
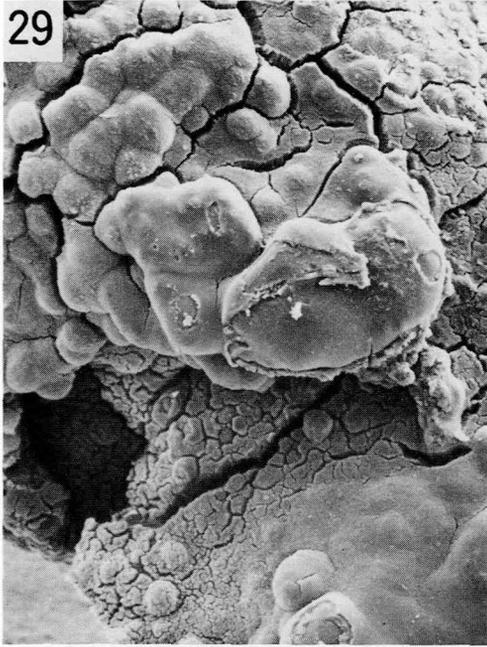
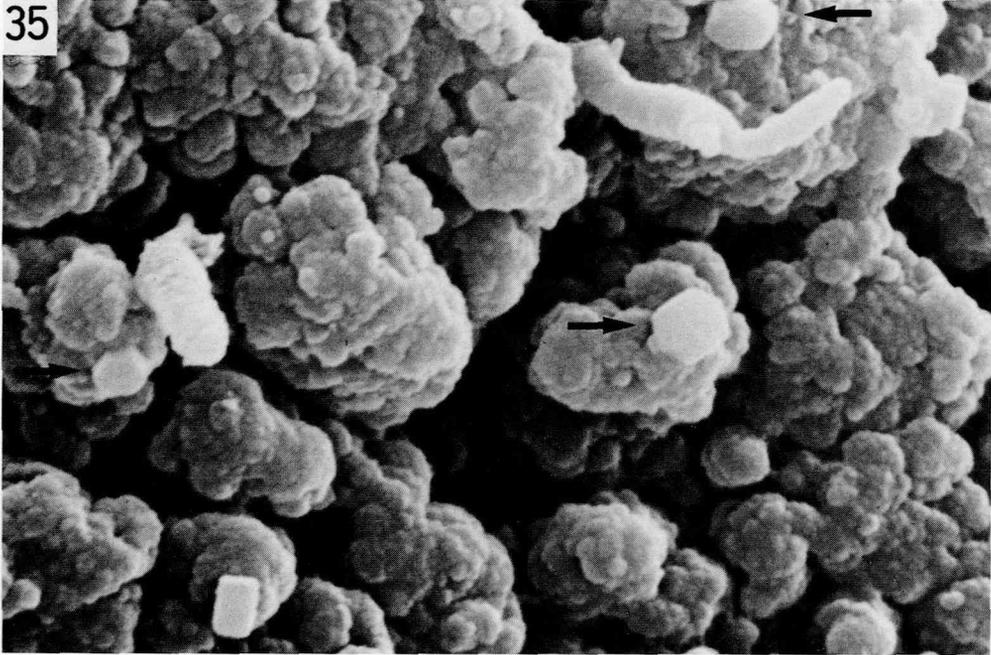


図29：唾石の表面。薄い被膜構造や、半球状構造が観察される。(38才，♀，右側顎下腺導管内) ×120
 (以下、とくにことわらない限り同一試料である。)
 図30：図29の一部拡大像。不定形の結晶物が密に沈着している。×2,000
 図31, 32：唾石表面の高石灰化部のEDSによる定性分析スペクトル。PとCaが主成分で(図31)、そのスペクトルを拡大すると微量のNa, Mg, Sが検出される(図32)。(51才，♀，右側顎下腺導管内)
 図33, 34：唾石表面の低石灰化部のEDSによる定性分析スペクトル。PとCaの量が減少し、Sが増加している(図33)。さらに石灰化の低い部位ではSが主成分となり、微量元素としてNa, Mg, P, Ca, Iがある(図34)。



36 NO. 14

PROBE CURRENT : 1.050E-08 (A)
 STAGE POS. : X 19225 Y 25789 Z 10909

CH(1) TAP				CH(2) PET				CH(3) LIF			
EL	WL	COUNT	INTENSITY(LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY(LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY(LOG)
Y	6.45	25	*****	TI	2.75	2	**	BI	1.14	2	**
RE	6.73	22	*****	RA	2.78	4	****	PR	1.17	4	****
SR	6.86	21	*****	CS	2.89	2	**	TL	1.21	2	**
W	6.98	16	*****	SC	3.03	3	***	HB	1.24	2	**
SI	7.13	14	*****	J	3.15	5	****	AU	1.28	2	**
TA	7.25	17	*****	TE	3.29	3	***	FT	1.31	3	***
RB	7.32	15	*****	CA	3.36	21	*****	IR	1.35	1	*
HF	7.54	13	*****	SB	3.44	2	**	OS	1.39	1	*
LU	7.84	9	*****	SN	3.60	2	**	ZN	1.44	2	**
YB	8.15	13	*****	K	3.74	2	**	CU	1.54	4	****
AL	8.34	20	*****	IN	3.77	1	*	NI	1.66	2	**
BR	8.37	37	*****	U	3.91	0		TM	1.73	1	*
ER	8.82	6	****	CD	3.96	1	+	CO	1.79	1	*
SE	8.99	6	****	TH	4.14	1	*	FE	1.94	1	*
HO	9.20	4	****	AG	4.15	1	*	GD	2.05	2	**
DY	9.59	8	****	PD	4.37	1	*	MN	2.10	2	**
AS	9.67	19	*****	RH	4.60	1	+	EU	2.12	0	
HG	9.89	6	****	CL	4.73	1	+	SH	2.20	0	
TB	10.00	3	***	RU	4.85	0		CR	2.29	2	**
GE	10.44	2	**	S	5.37	20	*****	ND	2.37	1	+
GA	11.29	2	**	MO	5.41	1	+	FR	2.46	2	**
NA	11.91	37	*****	NB	5.72	1	*	V	2.50	1	*
**	15.80	3	+++	ZR	6.07	1	+	CE	2.56	1	*
F	18.32	1	+	F	6.16	4	****	LA	2.67	0	

RESULTS:

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PRESENT
 NA P S CA AS BR

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PROBABLY PRESENT

図35：図30の一部拡大像。不定形の結晶物の中に菌体と思われる桿状構造物や、六方体結晶（矢印）が見られる。×20,000

図36：唾石の表面のWDSによる定性分析。Na, P, S, Caのほか、As, Brが検出されている。

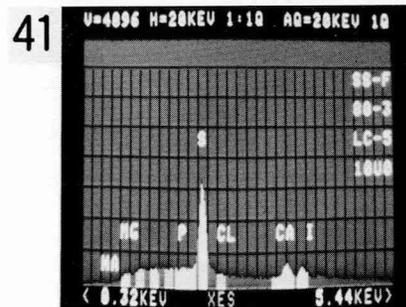
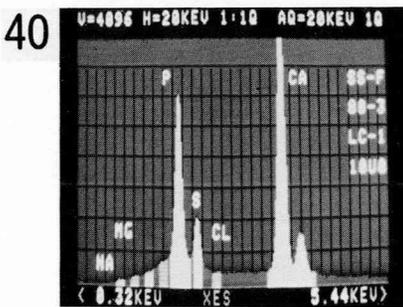
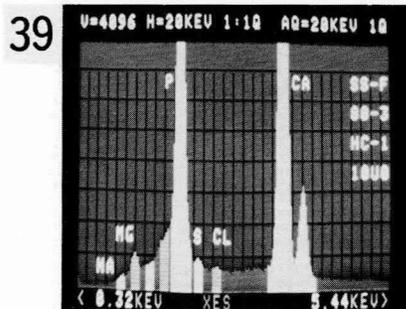
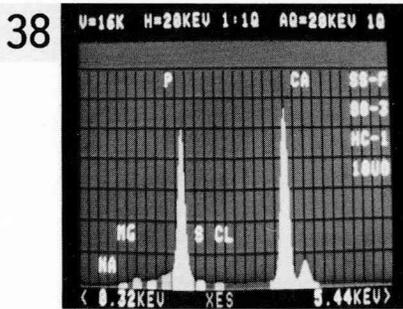
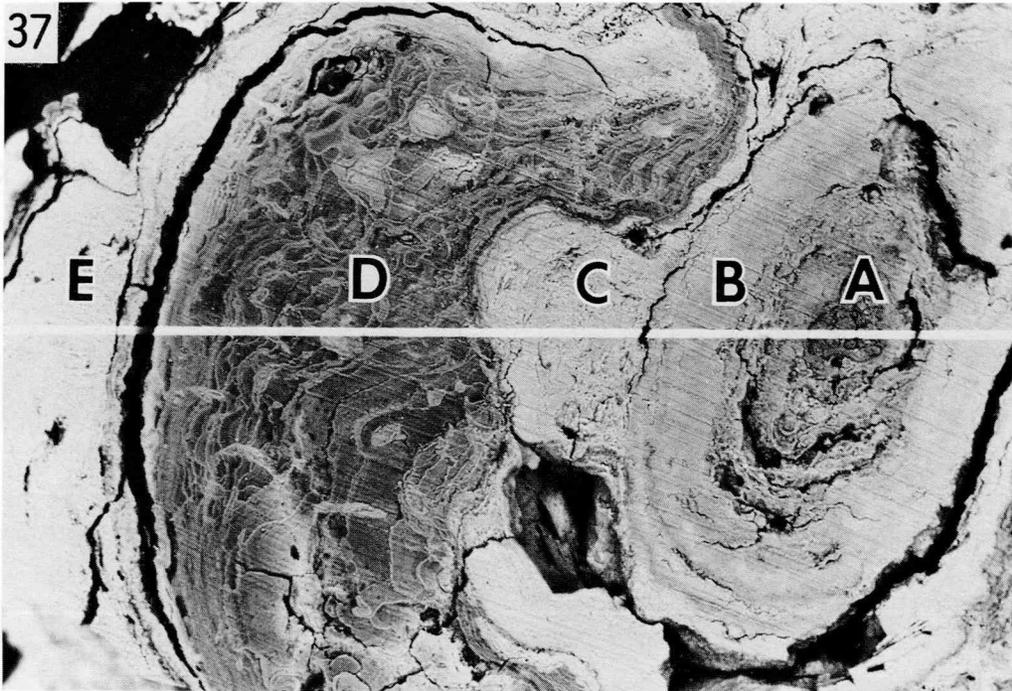
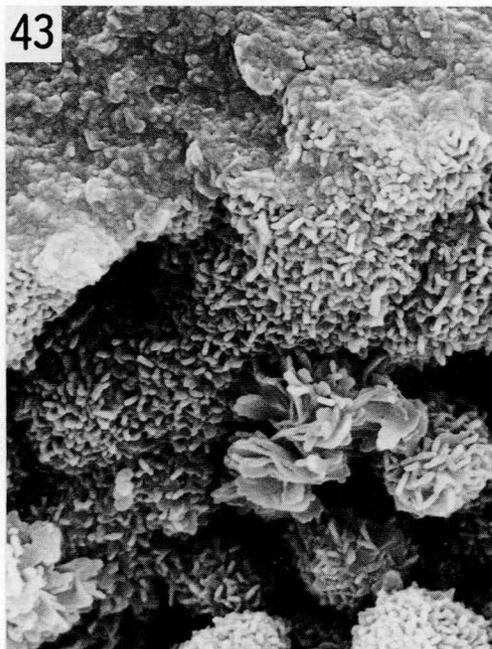
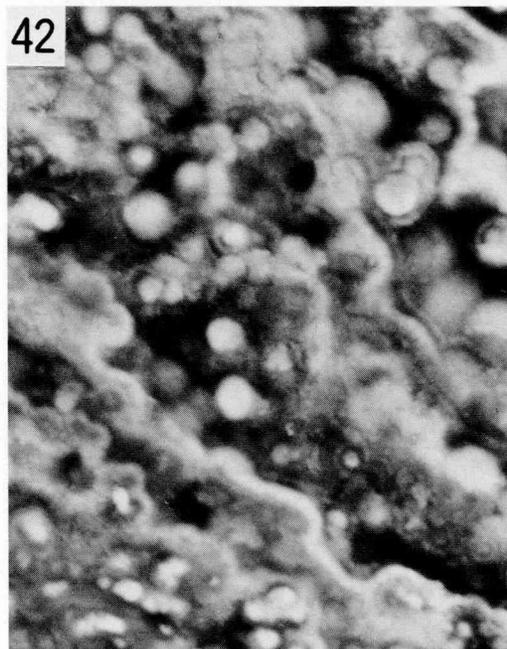


図37：唾石の研磨面の組成像。内部構造は中央右の核に相当する部分（A）から、白線によって左端の外殻（E）までほぼ5つの層から成っている。×50

図38, 39：図37の高石灰化部（E）のEDSによる定性分析スペクトル。PとCaのピークがあり（図38）、拡大すると微量なNa, Mg, Sが検出される（図39）。

図40, 41：図37の低石灰化部（D）のEDSによる定性分析スペクトル。PとCaが減少し、逆にSが増加している（図40）。他の部位ではSが主成分となり、微量なCaとIが存在する（図41）。



44 NO. 6

PROBE CURRENT : 1.040E-08 (A)
 STAGE POS. : X 22365 Y 25368 Z 11076

CH(1) TAP				CH(2) PET				CH(3) LIF			
EL	WL	COUNT	INTENSITY (LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY (LOG)	EL	WL	COUNT	INTENSITY (LOG)
Y	6.45	23	*****	TI	2.75	7	*****	RI	1.14	4	****
RE	6.73	171	*****++	BA	2.78	5	****	PB	1.17	5	****
SR	6.86	19	*****	CS	2.89	7	*****	TL	1.21	5	****
W	6.98	16	*****	SC	3.03	4	****	HG	1.24	6	****
SI	7.13	17	*****	I	3.15	11	*****	AU	1.28	4	****
TA	7.25	16	*****	TE	3.29	3	***	PT	1.31	5	****
RB	7.32	14	*****	CA	3.36	799	*****+++++	IR	1.35	5	****
HF	7.54	14	*****	SB	3.44	7	*****	OS	1.39	6	****
LU	7.84	14	*****	SN	3.60	2	**	ZN	1.44	5	****
YB	8.15	11	*****	K	3.74	3	***	CU	1.54	3	***
AL	8.34	10	*****	IN	3.77	3	***	NI	1.66	2	**
PR	8.37	8	*****	U	3.91	3	***	TM	1.73	3	***
ER	8.82	8	*****	CD	3.96	2	**	CO	1.79	2	**
SE	8.99	8	*****	TH	4.14	1	*	FE	1.94	1	*
HD	9.20	7	*****	AD	4.15	1	*	GD	2.05	1	*
DY	9.59	6	****	PB	4.37	1	*	MN	2.10	1	*
AS	9.67	10	*****	RH	4.60	1	+	EU	2.12	2	**
HG	9.89	21	*****	CL	4.73	4	***	SM	2.20	1	*
TB	10.00	8	*****	RII	4.85	2	**	CR	2.29	1	*
GE	10.44	4	****	S	5.37	8	*****	ND	2.37	0	
GA	11.29	3	***	MO	5.41	0		FR	2.46	0	
NA	11.91	14	*****	NB	5.72	0		V	2.50	1	+
**	15.80	0		ZR	6.07	1	+	CE	2.56	1	*
F	18.32	2	++	P	6.16	32	*****	LA	2.67	1	+

RESULTS:

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PRESENT
 NA Mg P S CA

THE FOLLOWING ELEMENTS ARE PROBABLY PRESENT
 F CL

図42：唾石の割断面の組成像。石灰化度のちがいによる層状構造や、高石灰化の球状構造が観察される。
 ×2,000

図43：唾石の割断面。微細顆粒状結晶、桿状結晶、板状結晶などがあり、それらの集合した直径約2 μ mの球状体結晶も観察される。×8,000

図44：唾石の割断面のWDSによる定性分析。PとCaのほか、微量なF, Na, Mg, S, Clが検出されている。



46 DISPLAY LEVEL:10
 P CH(2) BASE(CPS) :0 FULL(CPS) :2000
 CA CH(3) BASE(CPS) :0 FULL(CPS) :12000

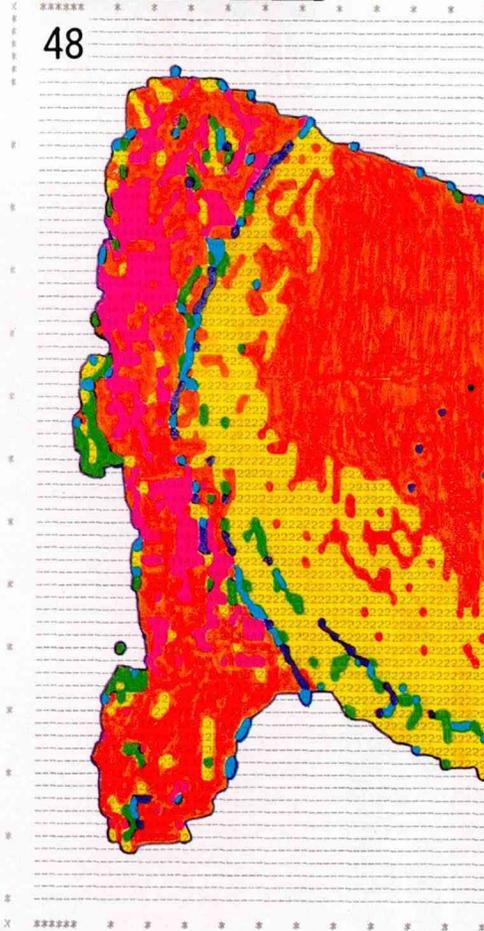
DISPLAY LEVEL

	-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	+
P	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	
CA	0	1200	2400	3600	4800	6000	7200	8400	9600	10800	12000	

47 MODAL ANALYSIS

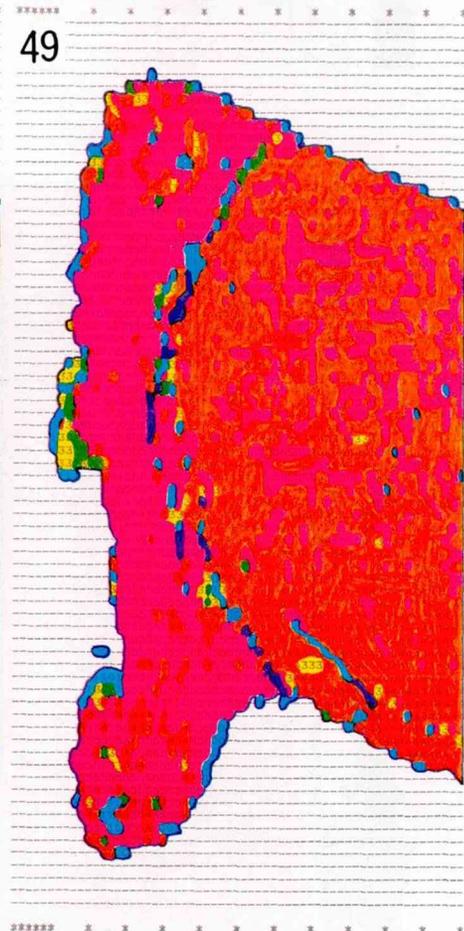
LEVEL	P		CA	
	PNT	%	PNT	%
-	0	0.00	0	0.00
0	1780	41.10	1741	40.20
1	39	0.90	39	0.90
2	32	0.74	28	0.65
3	30	0.69	19	0.44
4	67	1.55	32	0.74
5	980	23.32	31	0.72
6	1220	28.17	62	1.43
7	282	6.51	1270	29.32
8	1	0.02	1098	25.35
9	0	0.00	11	0.25
+	0	0.00	0	0.00
FTL	4331		4331	

48



P

49



Ca

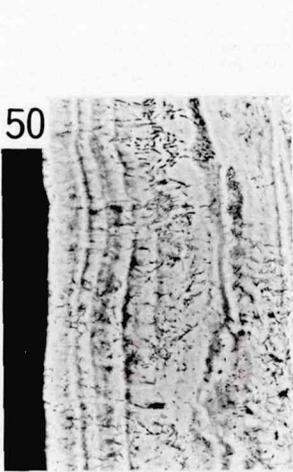
図45：歯石の研磨面の組成像。セメント質にそって、高度に石灰化した歯石の沈着が見られる。(78才、♀、 $\sqrt{1}$) \times 60

図46：図45のContour mapにおける、PとCaのX線強度レベル。

図47：図46のX線強度レベルに対応する、ポイント数とその比率および色別。

図48：図45におけるPのContour map。歯石部でPの濃度が高くなっている。

図49：図45におけるCaのContour map。Pと同様に、歯石部でCaの濃度が高い。



51 DISPLAY LEVEL:20
 P CH(2) BASE(CPS):0 FULL(CPS):1500
 CA CH(3) BASE(CPS):0 FULL(CPS):12000

DISPLAY LEVEL

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
P	0	75	150	225	300	375	450	525	600	675	750
CA	0	600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000
	9	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
P	750	825	900	975	1050	1125	1200	1275	1350	1425	1500
CA	6000	6600	7200	7800	8400	9000	9600	10200	10800	11400	12000

52 MODAL ANALYSIS

LEVEL	P		CA	
	PNT	Z	PNT	Z
-	0	0.00	0	0.00
0	503	13.52	321	0.53
1	213	5.72	238	6.40
2	25	0.59	62	1.67
3	22	0.59	31	0.83
4	16	0.43	21	0.56
5	16	0.43	21	0.56
6	12	0.33	15	0.40
7	7	0.19	17	0.46
8	23	0.62	23	0.62
9	12	0.32	22	0.59
A	32	0.86	18	0.48
B	430	11.56	14	0.38
C	1737	46.68	9	0.24
D	659	17.71	21	0.56
E	17	0.46	11	0.30
F	0	0.00	10	0.27
G	0	0.00	51	1.37
H	0	0.00	992	26.66
I	0	0.00	1793	48.19
J	0	0.00	31	0.83
+	0	0.00	0	0.00
TTL	3721		3721	

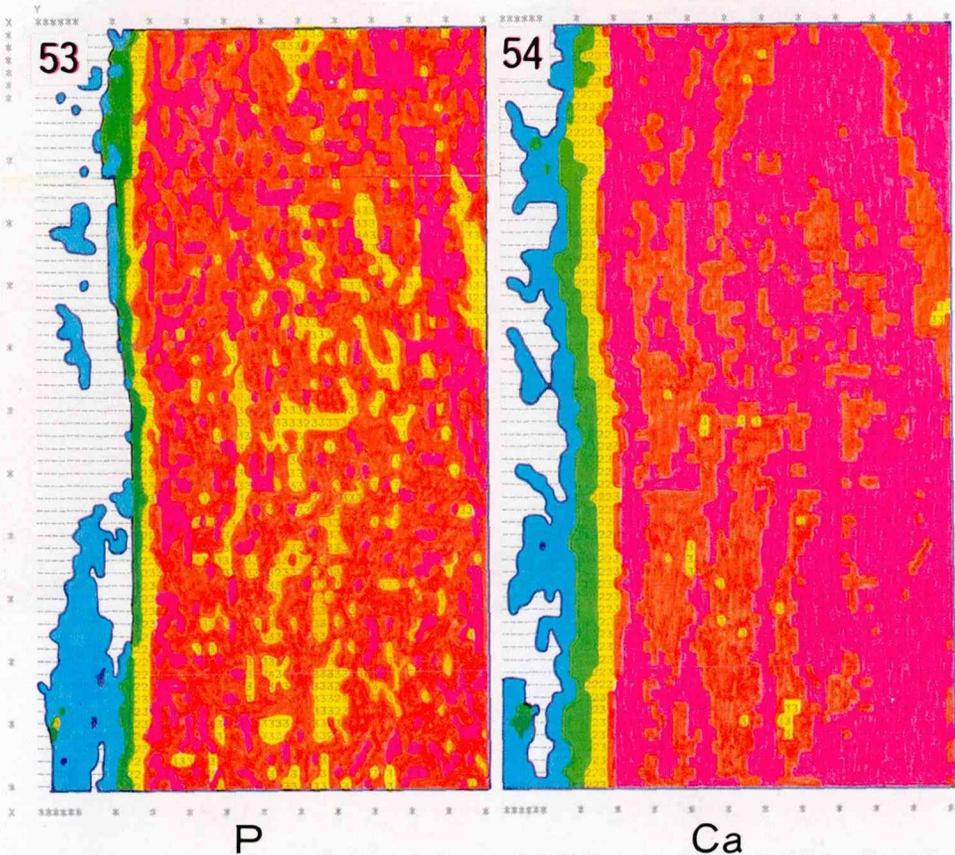


図50：図45の枠内の拡大像。石灰化度のちがいによる縞構造が明瞭に観察される。×1,200
 図51：図50のContour mapにおける、PとCaのX線強度レベル。
 図52：図51のX線強度レベルに対応する、ポイント数とその比率および色別。
 図53：図50におけるPのContour map。歯石の表面近くでPの濃度が低下している。
 図54：図50におけるCaのContour map。表面から内側に向ってCaの濃度が徐々に増加している。

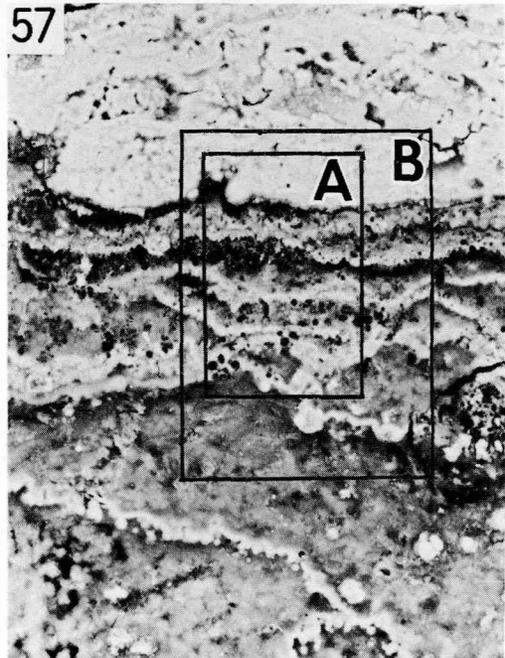
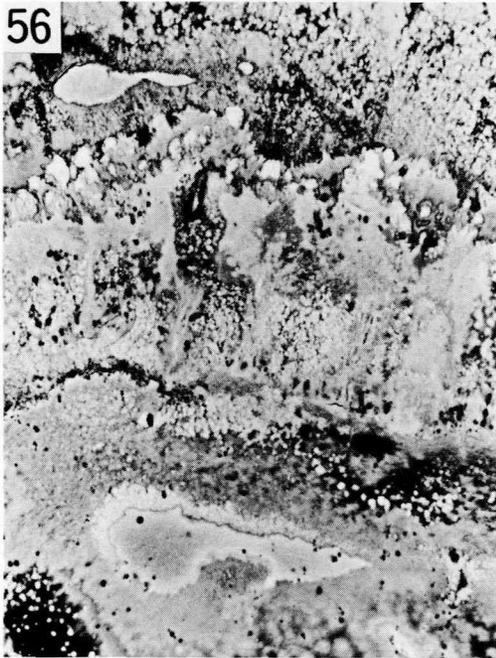
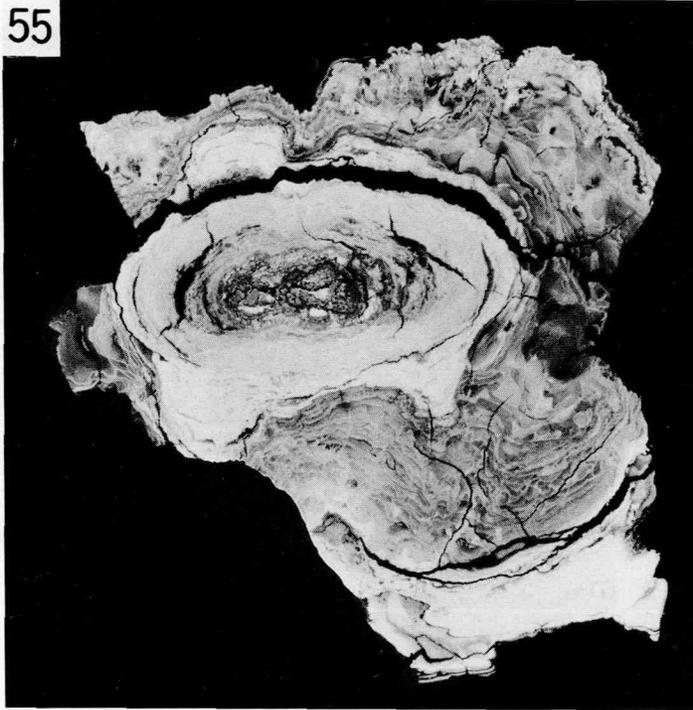
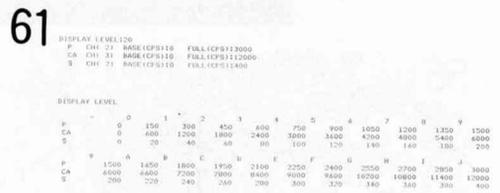
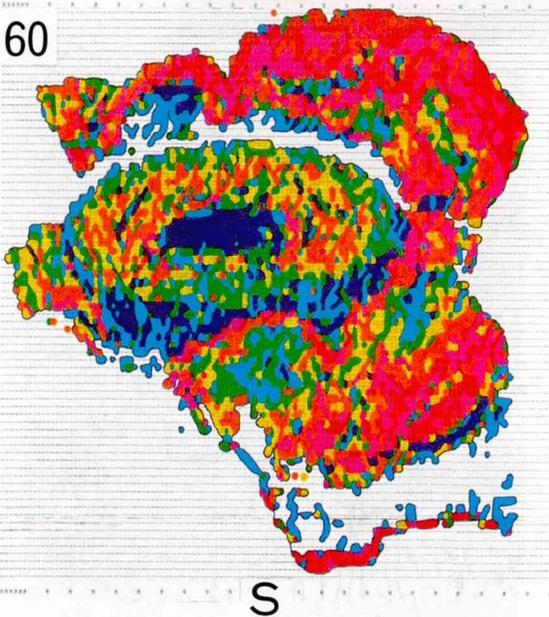
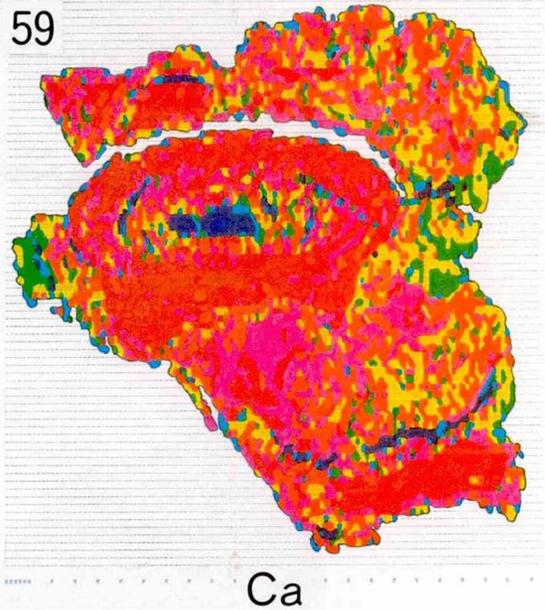
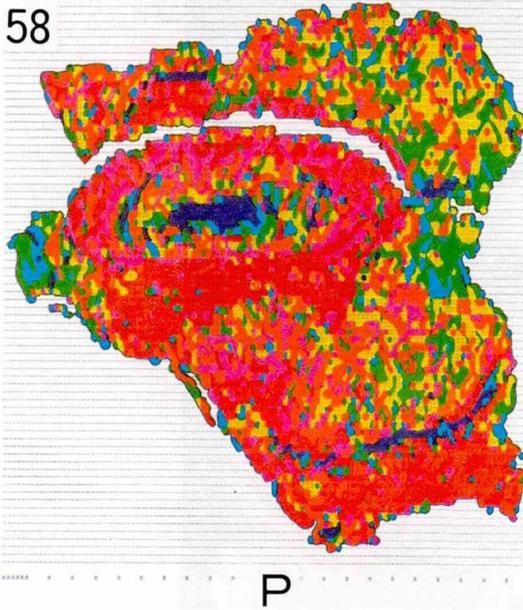


図55：唾石の研磨面の組成像。層状構造が明瞭に観察される。×26

図56：図55の一部拡大像。比較的石灰化の低い部位では、複雑な組成状態を示している。×600

図57：図55の一部拡大像。上方は石灰化が高く、下方の低石灰化部では層状構造が見られる。×600

(Aは図63を、Bは図67～70をそれぞれ参照のこと)



MODAL ANALYSIS

LEVEL	P	CA	S
	PNT	PNT	PNT
	%	%	%
-	0	0	0
0	3922	3561	4573
1	95	82	820
2	72	54	762
3	77	47	668
4	180	36	460
5	296	46	334
6	498	63	306
7	738	133	240
8	932	169	195
9	910	202	147
A	777	276	123
B	400	352	77
C	57	444	50
D	0	560	38
E	0	641	28
F	0	681	31
G	0	694	35
H	0	474	21
I	0	139	15
J	0	1	8
K	0	0	21
TTL	8954	8954	8954

図58：図55におけるPのContour map. 唾石の高石灰化部である核の周囲層および外殻層で、Pの濃度が高い。
 図59：図55におけるCaのContour map. Pと同様に、高石灰化部でCaの濃度が高い。
 図60：図55におけるSのContour map. PおよびCaとは逆に、低石灰化部でSの濃度が高い。
 図61：図55のContour mapにおける、P、Ca、SのX線強度レベル。
 図62：図61のX線強度レベルに対応する、ポイント数とその比率および色別。

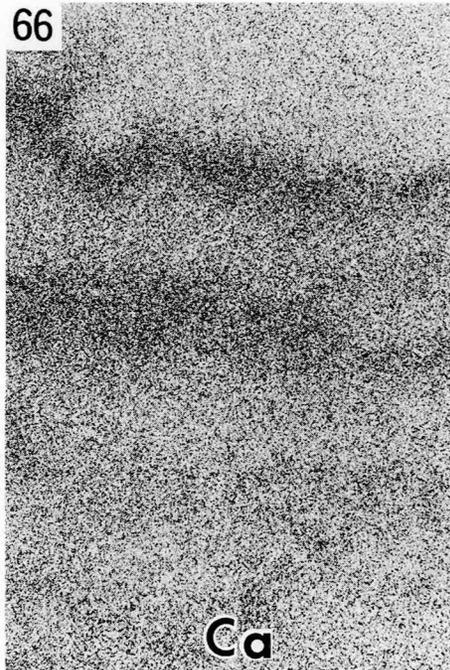
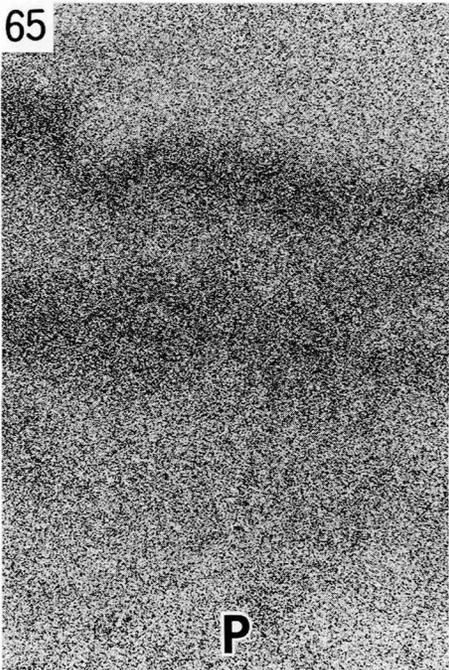
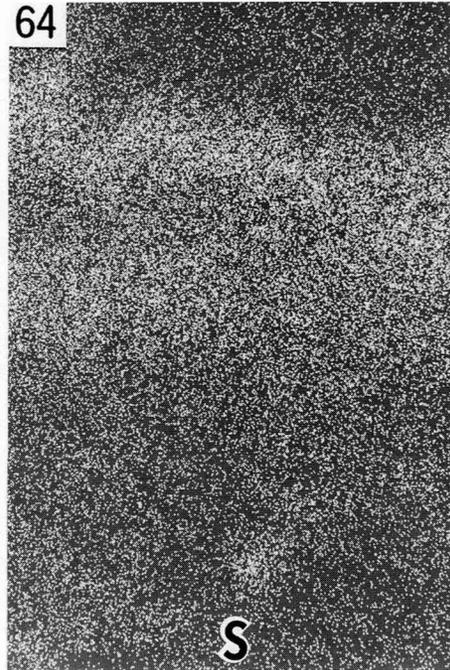
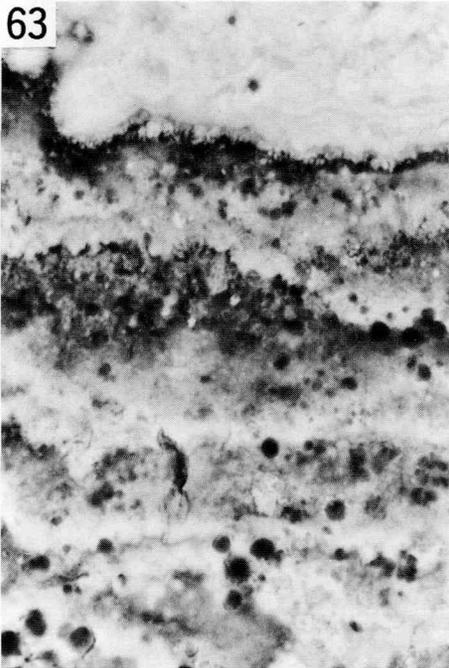


図63：図57の枠内(A)の拡大像。唾石の断面では微小部分においても石灰化進行が層状構造を示している。×2,000

図64：図63のSのX線像。低石灰化部に対応して、Sの濃度が高い。×2,000

図65：図63のPのX線像。Sとは逆に、高石灰化部でPの濃度が高い。×2,000

図66：図63のCaのX線像。Pと同様に、高石灰化部でCaの濃度が高い。×2,000

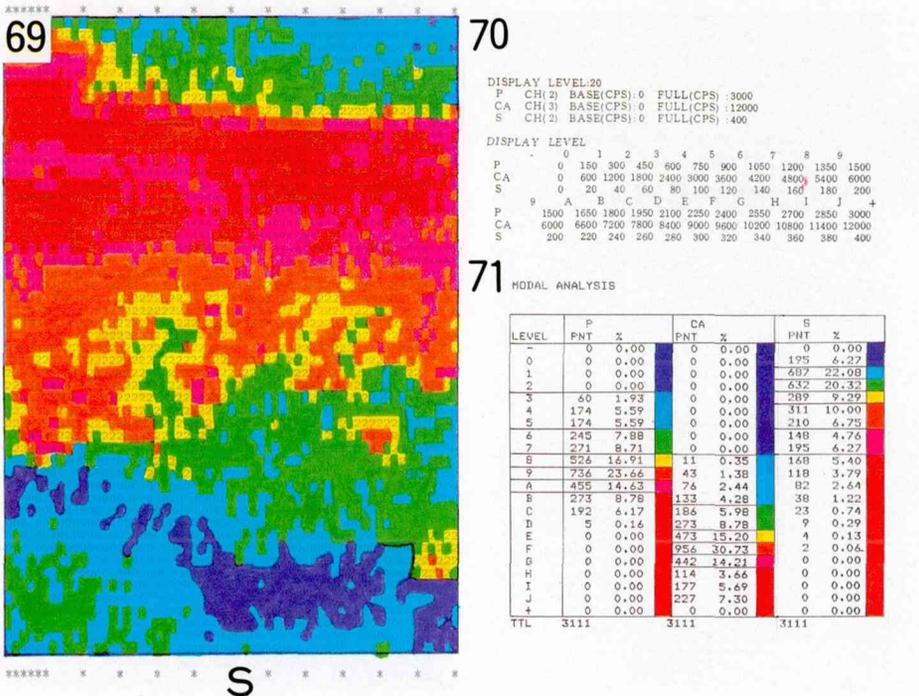
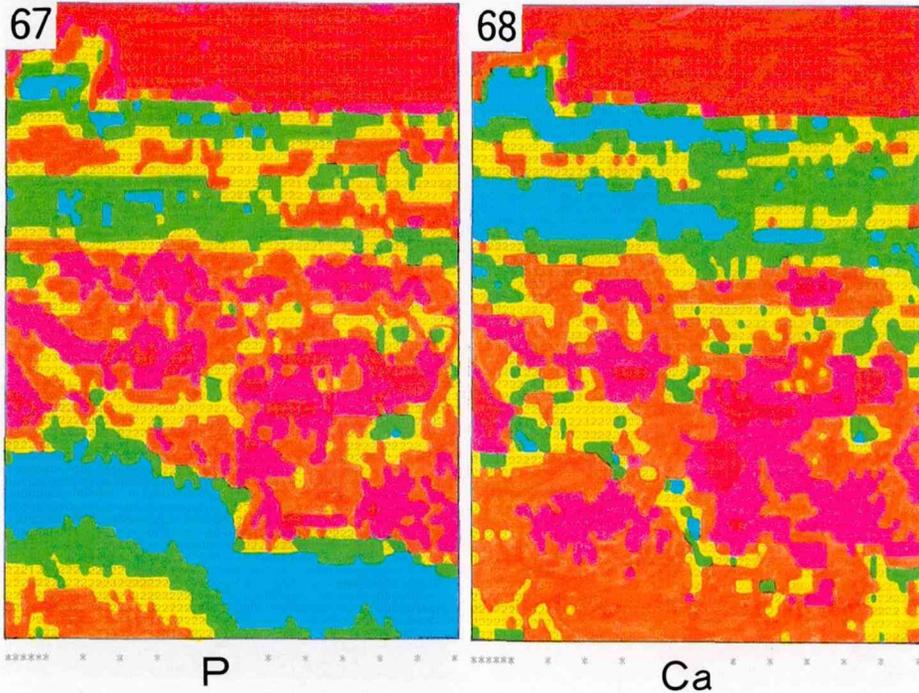


図67：図57の枠内 (B) における P の Contour map. 唾石の断面に見られる層状構造に対応し、高石灰化部で P の濃度が高い。図65の X 線像と比較して、その濃度差は明瞭である。
 図68：図57の枠内 (B) における Ca の Contour map. P と同様に、高石灰化部で Ca の濃度が高い。
 図69：図57の枠内 (B) における S の Contour map. 低石灰化部で S の濃度が逆に高くなっている。
 図70：図57の枠内 (B) の Contour map における P, Ca, S の X 線強度レベル。
 図71：図70の X 線強度レベルに対応する、ポイント数とその比率および色別。