

球間象牙質の石灰化に関する研究*

張 春 輝**

東京歯科大学組織学教室

(主任 松井隆弘教授)

(指導 見明 清教授)

(1972年6月7日 受理)

Studies on the Calcification in Interglobular Dentins

SHUN-KI CHO

Department of Oral Histology, Tokyo Dental College

(Chief: Prof. Takahiro Matsui)

(Director: Prof. Kiyoshi Miake)

I 緒 言

象牙質に発現する微小構造物の一つとして球間象牙質(または球間区)があげられる。従来この球間象牙質は石灰化球相互間の融合不全の結果として形成された石灰化度の不十分な象牙質の微小部分であって、その多くのは研磨切片標本では円弧によって囲まれた不規則な外形を有し、周囲原成象牙質との境界が明瞭なものであるとする古典的な報告も多数みられる。その他、それらの発現部位、発現率、形態分類などについて、Erva²¹⁾、Meyer²²⁾、片山¹⁸⁾、西山²⁹⁾、中島²⁶⁾その他の人々の行った研究報告もみられるが、これらの性状のいずれについても明らかな個体差および部分差のあることが示されている。しかしながら、その球間象牙質の石灰化程度が、その周囲原成象牙質と比べて低い、すなわち、石灰化の微弱な象牙質部分であることは広く認められている事実であるのに対して、このものの存在意義や生理学的役割などについての解釈は今日においてなお未だ解決されていないところであるが、この問題解明の一つの手掛りとしてこの球間象牙質の石灰化程度のいかに何等かの方法で具体的に究明することは甚だ意義深いところである。最近において、磯川¹⁵⁾、春原⁴⁰⁾、片桐¹⁶⁾は顕

微X線法 Microradiography によって球間象牙質部がX線透過度の大であることを認め、また山崎⁴³⁾は歯牙硬組織の微小硬度測定結果の一部として、この部位の硬度が低下していることを付言しているが、いずれにしても球間象牙質が周囲象牙質よりも石灰化程度が減少している点を明らかに示したものである。

ところで、一般に組織内の石灰化状態を組織学的に検索する方法としては、特殊な染色方法、例えば Alizarin reds 染色法⁵⁾、von Kossa 硝酸銀法¹⁴⁾、Microautoradiography²¹⁾などのCa沈着の直接または間接的な顕微鏡的観察法によるほか、物理学的検出法とも言うべき顕微X線法 Microradiography、微小硬度測定法 Microhardness test、さらに微小部X線分析法 Electron probe microanalysis などの方法があげられる。

これらの諸方法は最近にいたり、歯牙、骨などの硬組織の石灰化程度の検索に際しては、むしろルーチン化されていると言われ、これらのうちの一方による検索結果だけでは、複雑な硬組織の石灰化機構を充分に説明することがむしろ困難であると考えられている。

そこで、著者は球間象牙質の石灰化について検討を行うに際して、上述の種々な検索法のうちから、主として微小硬度測定法と、石灰化現象に最も関係の深い数種元素の非破壊検出法である微小部X線分析法(E P M A

* 本論文の一部は、第11回歯科基礎医学会総会および第185回東京歯科大学学会総会において報告した。

**東京歯科大学客員教授、台北医学院教授

法)および顕微X線法 Microradiography などを用いて多角的に球間象牙質の石灰化につき検討を進めたところ、原成象牙質のそれと比較して石灰化が明らかに低下しており、その石灰化程度にかなりの差がみられ、それらを数量的に測定、しかも増令的に石灰化が増大し、構成元素濃度分布の変動がみられること、その他2, 3のみるべき成績を得たので、その結果を報告する。

Ⅱ 材料と方法

1) 第1実験：Vickers 微小硬度測定法

肉眼的にう蝕の認められない年令、性別の明らかな下顎中切歯100本を、抜去後直ちに10%ホルマリンで固定し

た。固定完了後、被検歯牙は即時重合レジンで包埋後、歯牙長軸に平行して中央縦断面が現われるように唇舌的に縦断し、その断面を砥石、パイロポールなどを用いて充分研磨活沢(最終研磨は、 0.05μ 酸化アルミナで回転研磨)にし、明石製作所製 Vickers 型軽荷重微小硬度計によって、唇側および舌側象牙質の歯冠中央部および歯頸付近部における珐瑯境界部内側に発現する球間象牙質(図1参照)について硬度測定を行なった。測定条件は荷重5g、負荷時間30秒であり、1本の歯牙について最低3個、全被検歯牙について総計412個の球間象牙質の微小硬度測定を行なった。なおまた、これと比較対照するために、1個の球間象牙質につきその外周 100μ 以内の原

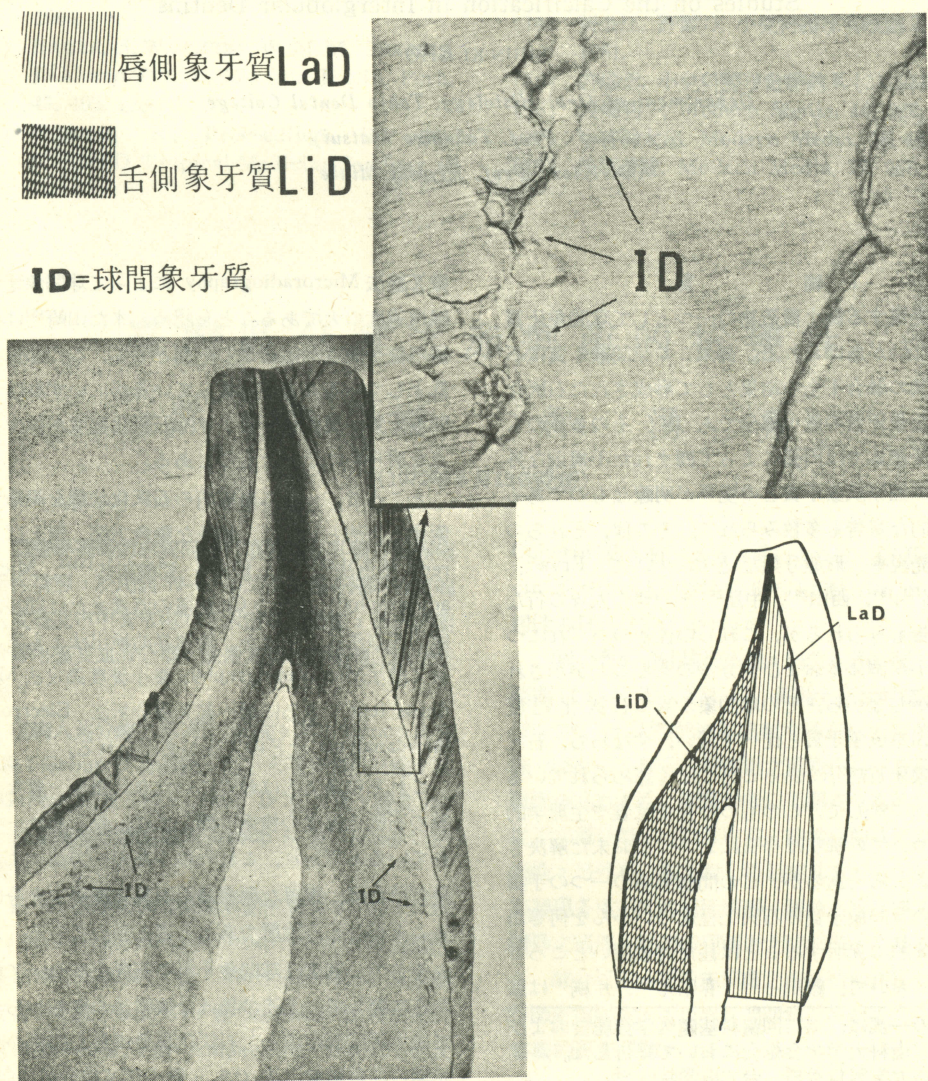


図1 微小硬度とその面積測定に供した球間象牙質

張：球間象牙質の石灰化に関する研究

成象牙質部分2～5ヶ所につき同様に微小硬度を測定、その測定個数は全被検歯牙で総計約400ヶ所に及んだ。

2) 第2実験：微小部X線分析法(EPMAまたはX-MA)による元素分析法

若年(20才代まで)、中年(30～40才代)、高年令(50～70才代)に属すところの下顎中切歯、その他の切歯合計20本で、1)と殆んど同様な性状のものに対して1)と同様に研磨活沢にした歯牙縦断面を現わすように切断し、その面の球間象牙質が充分な導通を有するように、カーボンまたはアルミ蒸着を施し、日立X-MA 5型機による元素分析を行なった。分析条件は次のごとくであり、Ca, P, Mg, S, Zn, N, Clなどの元素について行なった。

試料電流	0.06 μ A
電 圧	20 KV
試料速度	10 μ /分
チャート速度	20 mm/分

3) 第3実験：顕微X線法 Microradiography

1)に用いた歯牙のうちから中年、高年者の総計10本の下顎中切歯を、1)の微小硬度の測定に供した面を残して、その近心側(または遠心側)から次第に研磨して、最終40～50 μ の厚さの研磨切片標本として仕上げ、これに対して次の条件下で超軟X線による Microradiographyを行ない球間象牙質のX線透過状況について顕微鏡下で観察を行なった。

Softex-CMR	
二次電圧	7000V
電 流	3mA
露出時間	40分(Kodak 649-0)
現 像	D-158, 5分
バルサム封入	

4) 第4実験：球間象牙質面積測定法

1)に用いた若年から高年令にいたる下顎中切歯のうちから総計約40本を、3)と殆んど同様な方法で研磨切片標本(厚さ約60 μ)として仕上げ、脱水後バルサム封入を行なった。この研磨切片標本に対して透過光線下で歯冠象牙質中に出現する球間象牙質全部の光学顕微鏡写真撮影を行ない、このネガから写真陽画で終末倍率365倍に引伸し、その上にトレーシングペーパーを重ね、球間象牙質外形をトレースして面積計を用いてその面積を計測し、これが唇側および舌側歯冠象牙質内において占有する面積をそれぞれ算出(cm^2)し、歯冠象牙質に対する球間象牙質の比率(面積比)を算出した。ここでは、歯頸部唇側および舌側歯頸部を直線で結び、これより切端側にある象牙質(第2象牙質を含む)の部分をそれぞれ唇側および

舌側歯冠象牙質と呼び、両者の合計をもって歯冠象牙質の面積とした。

Ⅲ 成 績

1) 第1実験：微小硬度測定成績

下顎中切歯総計100本の唇舌的縦断面に発現した球間象牙質の各発現部位別に対する Vickers 微小硬度(VHN)の平均値は表1に示す如くである。この表でみられるように、唇側歯冠中央部付近の平均硬度値(VHN)は、8.6であるのに対して、歯頸付近部のそれは7.9となり、やや硬度の低下がみられる。一方、舌側では、同様に歯冠中央付近部の硬度値9.2は歯頸部付近のもつ8.7よりわずかに大となっている。またこれらの唇側および舌側での硬度値を平均すると、唇側8.1、舌側8.9となる。従って以上のいずれの部位での測定値においても唇側は舌側よりもわずかに硬度の低下が認められる。

一方、これらの球間象牙質と年令との関係について検討したところ表2の成績を得た。すなわち、10才代における平均微小硬度は、 6.0 ± 2.77 、20才代で 7.4 ± 3.72 、30才代で 6.7 ± 4.12 、40才代で 6.9 ± 2.61 、50才代で9.4

表1 歯冠象牙質に現われた球間象牙質の微小硬度(平均値)
(Vickers Hardness Number = VHN)

	歯冠唇側象牙質部	歯冠舌側象牙質部
歯 冠 中 央 部	8.6 ± 3.01	9.2 ± 3.50
歯 頸 部	7.9 ± 3.65	8.7 ± 5.24
平 均 値	8.1 ± 3.32	8.9 ± 4.52
合 計 平 均 値	8.7 ± 4.06	

表2 球間象牙質と周囲原成象牙質の微小硬度(平均値)
(Vickers Hardness Number = VHN)

年齢	被検歯牙数 (硬度測定球間象牙質数)	球間象牙質微小硬度 (平均)(VHN)	周囲原成象牙質微小硬度 (平均)(VHN)
10～	5 (28)	6.0 ± 2.77	56.2 ± 5.64
20～	15 (74)	7.4 ± 3.72	57.4 ± 7.68
30～	26 (125)	6.7 ± 4.12	58.3 ± 11.90
40～	16 (39)	6.9 ± 2.61	61.8 ± 7.21
50～	15 (64)	9.4 ± 5.17	63.7 ± 8.91
60～	13 (43)	11.0 ± 4.22	62.8 ± 7.23
70～	10 (39)	16.0 ± 9.49	63.5 ± 7.94

± 5.17 , 60才代で 11.0 ± 4.22 , 70才代で 16.0 ± 9.49 となっている。そして10才代から70才代までの各年代別の値を比較してみると, 10才代が最低値で, 以後おおむね増的に硬度値は増大し, ことに50才代より以後は, その傾向が強く, 70才代で最高値を示している。ところで, 前述のごとく各球間象牙質の周囲 100μ 以内における原成象牙質の微小硬度(VHN)を測定したところ, 表3の結果が得られた。この表でみられるように, 唇側および舌側歯冠中央付近部の平均値は, 62.3 ± 5.36 および 62.4 ± 6.60 で, この両者は殆んど等しい値を示している。また歯頸付近部では, 唇側および舌側で, それぞれ 59.0 ± 6.78 と 58.8 ± 9.06 となり, この両者の間にも差は殆んど

表3 球間象牙質の周囲原成象牙質における微小硬度(平均値)
(Vickers Hardness Number=VHN)

	歯冠唇側象牙質部	歯冠舌側象牙質部
歯冠中央部	62.3 ± 5.36	62.4 ± 6.60
歯頸部	59.0 ± 6.78	58.8 ± 9.06
平均値	60.2 ± 5.09	60.0 ± 7.22
合計平均値	60.1 ± 7.24	

みとめられない。ただ, 唇側および舌側において, 歯冠中央部付近での硬度値は, 歯頸部付近のそれよりわずかながら大きい値を示すことがみとめられる。

ところで, この球間象牙質の周囲 100μ 以内にある原成象牙質の年令別平均微小硬度を比較してみると, 表2に示したごとく, 10才代の 56.2 ± 5.64 を最低値として, 以後各年代共にわずかながら次第に増大し, 50才代で 63.7 ± 8.91 という最高値を示し, 以後, 殆んど変化がみられず, 70才代では 63.5 ± 7.94 を示している。

以上の球間象牙質と周囲原成象牙質との平均微小硬度の年令別変化をグラフに示したものが図2であるが, この図で明かなように, 前者と後者との間には, 著しい硬度差がみとめられ, 後者の値は前者の4~9倍を凌駕しているものもある。また前者の年令別比較においては, 10才代~40才代までの値の間には甚だしい差はみられないが, その後50才代になると約1.5倍となり, ついで60才代, 70才代に至っては約2~2.5倍にも増大している。

ところで歯冠中央部付近と歯頸付近部において微小硬度計に装着されている反射顕微鏡で倍率200倍下で明らかに球間象牙質と認められる大きさを有するところの球間象牙質は, 珐瑯境界より内側歯髄腔側に数 100μ の範囲内に存在するものが多いが, その発現層の深さ別にお

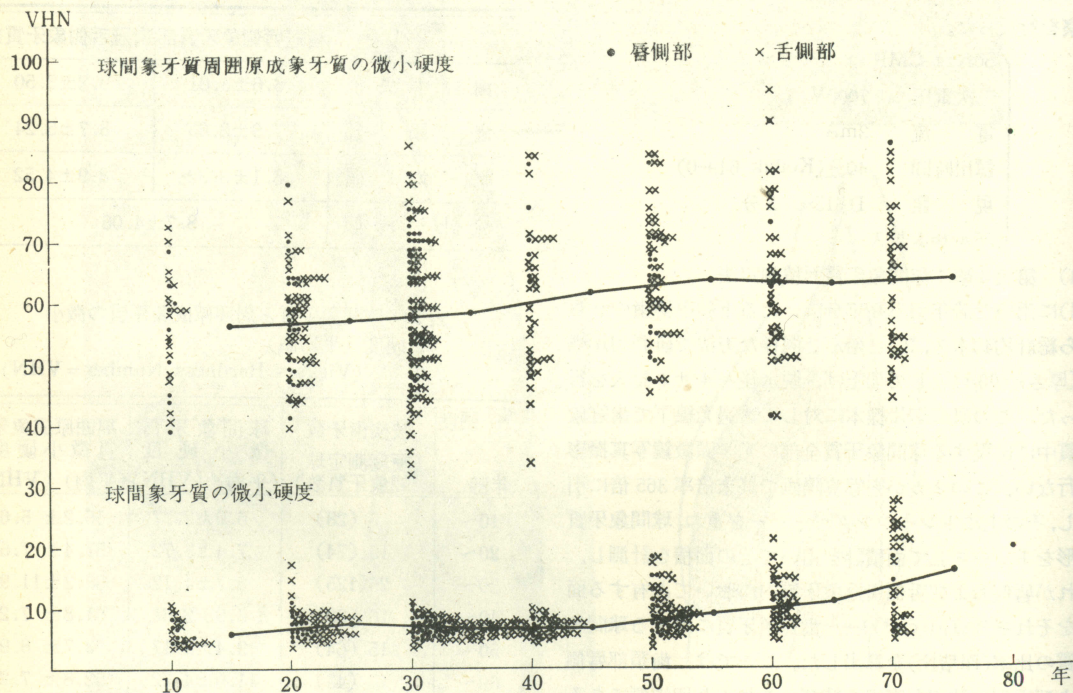


図2 球間象牙質と, その周囲原成象牙質の微小硬度の年齢的变化

張：球間象牙質の石灰化に関する研究

表4 球間象牙質の発現層の深さと、それらの微小硬度および発現頻度（平均値）

(Vickers Hardness Number = VHN)

部 位	発現層の深さ 100 μ	150 μ	200 μ	250 μ	300 μ	350 μ	400 μ	450 μ	500 μ
唇 側 象 牙 質 部	6.8 (10.0)	6.7 (7.5)	8.8 (13.3)	8.9 (19.2)	7.1 (32.5)	7.6 (14.2)	5.4 (2.5)	6.1 (0.8)	—
舌 側 象 牙 質 部	7.8 (2.7)	8.4 (3.8)	9.5 (20.6)	8.2 (21.2)	9.4 (27.7)	9.9 (15.4)	7.6 (5.1)	7.8 (1.4)	5.4 (2.1)
平 均 値	7.3 (4.9)	7.6 (4.9)	9.2 (18.5)	8.6 (20.6)	8.3 (29.1)	8.8 (15.0)	6.5 (4.4)	7.0 (1.2)	5.4 (1.4)

() : 発現頻度 (%)

ける発現頻度(%)と微小硬度とを検討したところ表4のような成績が得られた。まず、上述のような硬度測定条件に適した球間象牙質の発現層の深さは琺瑯境界部より内側に向って、おおむね100 μ ～500 μ の間にわたって多層性に発現し、その大多数のものは200 μ ～350 μ の範囲内のいずれかの深さの層に集合して発現していることがみとめられる。(唇側13.3～32.5%, 舌側15.4～27.7%)。そしてそれらの範囲内にある球間象牙質は、それよりも外側や、または内側に発現する球間象牙質よりも微小硬度は平均してやゝ大きく、最高値は舌側においては350 μ 層の9.9、唇側においては250 μ 層の8.9である。また、これらの数層よりも歯髄腔側(内側)にある球間象牙質はそれらのものより外側に存在する球間象牙質よりも硬度値は平均して小さいようである。

2) 第2実験：微小部X線分析(EPMA分析)成績

球間象牙質は周囲原成象牙質に対して、その微小硬度値が $1/4 \sim 1/9$ という低値をとることが第1実験によって明らかにされ、その石灰化程度の低いことが推測された。そしてまた、それらの硬度値は増令的にわずかながら増大することからして、球間象牙質においては石灰化程度が増令的に増加することが考えられる。そこでそれら球間象牙質の構成にあずかる元素、ことに石灰化(現象)に大きく影響を及ぼすものと思われるCa, P, Mg, S元素その他一般に原成象牙質構成元素の一部として Zn, Na, Cl, N元素について、この球間象牙質部にいかなる状態で分布しているか、さらに年令的にそれらの濃度分布が変化するものかについて検索を行なった。図3, 4は、比較的若年者である22才♀, [I]の舌側歯頸部に認められたひょうたん型をした巾約30 μ の大きさの球間象牙質について Ca, P, Mg, S の面分析と線分析を行なった結果を示したものである。この図3(b)からみると球間象牙質においては明らかに周囲原成象牙質よりもCa, P, Mgなどの分布濃度が低いことが、元素の分布を表示す

る写真上の白点の密度がすう粗な(または部分的欠除)ことより判定することができる。ことにひょうたんのくびれ部を除いた上下の部分は、周囲原成象牙質と比較してCa, P, Mg 元素の分布濃度の低いことが鮮明に示されている。さらに図3(a)(反射電子線像)にみられる球間象牙質部では、各元素の Line profile 像、すなわちひょうたんのくびれの部分に相当する球間象牙質部での分析走査X線ピークの明らかな強度下向がみとめられる。さらにまた、これらのX線強度のピーク変動を詳細にチャートに記録した図4によれば、Ca 元素は周囲原成象牙質において殆んど均一な濃度ピークを示しているのが、球間象牙質部に至るや急激な濃度減少を示すところのピークの顕著な下降像をえがいており、再び原成象牙質にもどると、もとの濃度ピークにまで回復しているのが明瞭にみとめられる。Mg についても殆んど同様な傾向であって球間象牙質部において急激に濃度ピークの低下をきたしているほか、原成象牙質部では、やゝ不安定な濃度ピークの分布を示している。S 元素はCa, Mg 元素とは全く逆の傾向の濃度ピーク分布を示し、球間象牙質部において、周囲原成象牙質のS濃度よりも高い濃度ピーク像を描いている。

次に図5～10に示すごとく微小硬度のやゝ上昇した中年者の場合と微小硬度の高い高年者の場合における球間象牙質の元素分布状況について比較検討を行なった。

図5では、微小硬度11.8を有する球間象牙質のCa, Mg, Sについての線分析の結果が示されているが、Ca, Mg の濃度ピークは、球間象牙質の部分に至って明らかに下降し、それら元素の濃度分布の低いことが示され、さらに周囲原成象牙質におけるCa, Mg のX線強度数(CPS=毎秒カウント数)が、この球間象牙質部において減少していることによっても示されている。これらCa, Mg 元素と殆んど同様な傾向がP, Zn, Na 元素についても明瞭に示され、球間象牙質部でのこれら元素の濃度

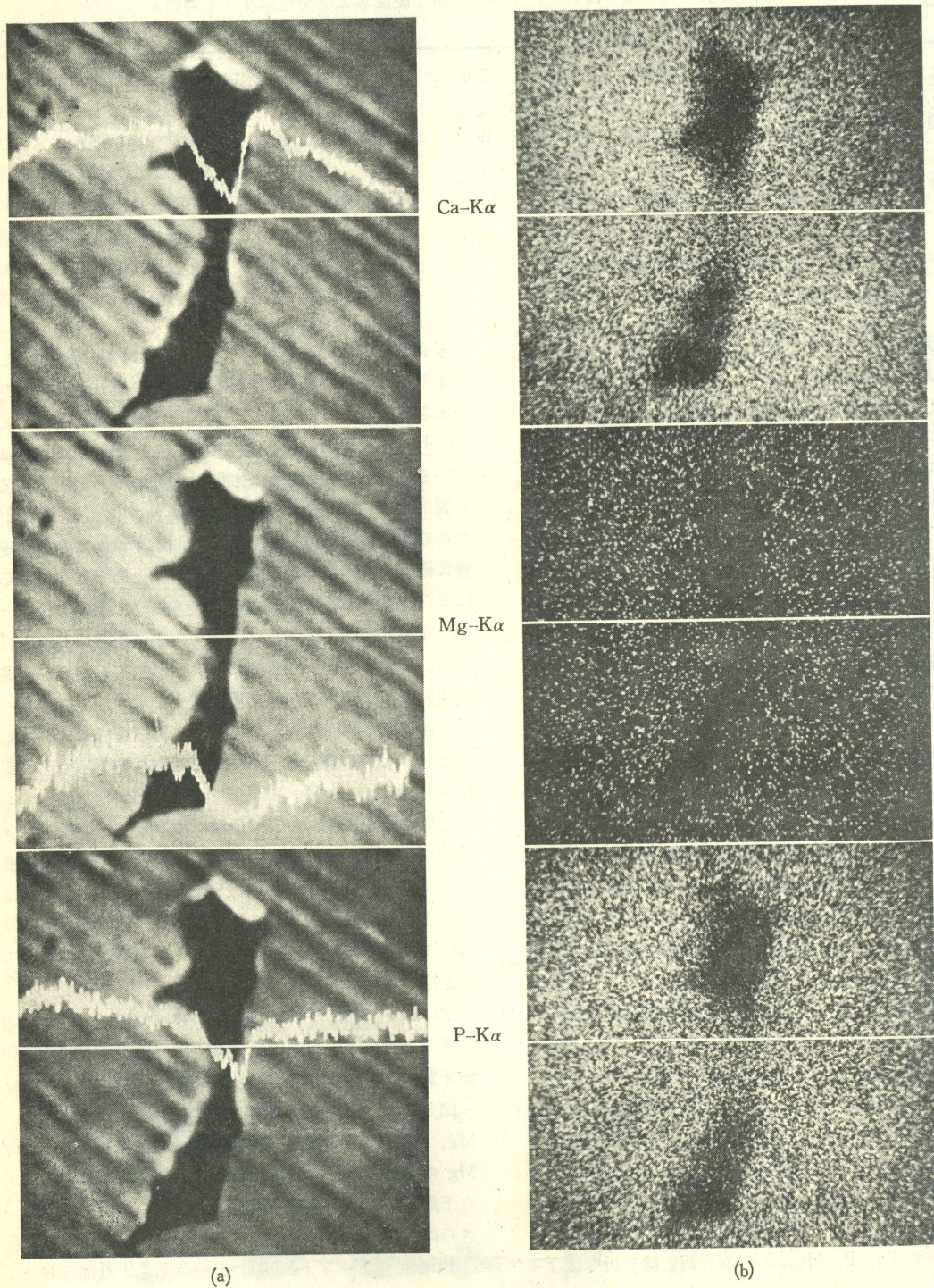


図3 球間象牙質(2-22:22才, ♀, $\overline{I}$)のCa, Mg, P 元素についてのEPMA分析
(a) 反射像と各元素のLine Profile。×660 (b) 各元素の面分析像。×660

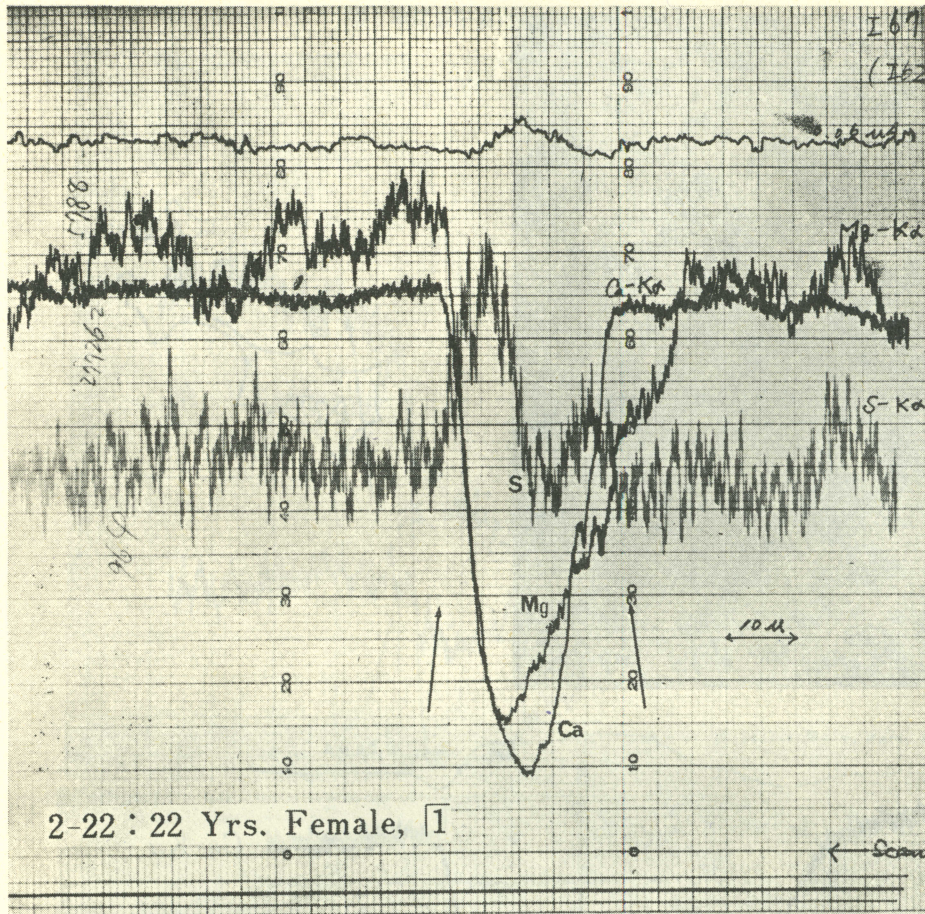


図4 球間象牙質(2-22:22才, ♀, [1])のCa, Mg, S元素についてのEPMA線分析
 〓=球間象牙質

減少が推測される(図6)。しかしながらSおよびCl元素は、これらの諸元素とは全く逆の濃度分布を示し、むしろ球間象牙質部では、周囲原成象牙質部のそれらよりも高いピークを示し、X線強度数(CPS)もそれを表示している。なおN元素においては、球間象牙質部での濃度分布の変化は不安定で、わづかながら増大する小部分と減少する小部分とが混在しているようにみられる。次に図7, 8においては、球間象牙質の微小硬度がやゝ上昇した場合の線分析の結果が示されているが、微小硬度は20.4を示し、図4(この場合の微小硬度は7.4, 周囲原成象牙質のそれは58.3)や図5に示された球間象牙質よりもはるかに石灰化程度が高まっているものと考えられる。Ca, P, Mg元素は、球間象牙質部での濃度ピークの低下が甚だ少なく、周囲原成象牙質と比べX線強度(CPS)も極めてわずかな減少をみるにすぎない。さら

にまたZn, Na元素においては図5の例とは逆に、球間象牙質部で濃度ピークが周囲原成象牙質よりもむしろ上昇していることが示され、SおよびCl元素においては、周囲原成象牙質と同様な濃度ピークを示し、この部でのピークの下降はみられない。N元素については、図6と比べると、濃度ピークの不安定さはやゝ低下しているが、多少のピークの変動がみられる程度で周囲原成象牙質との差は殆んどみとめられない。

高年齢者の球間象牙質では、図9, 10にみられるごとくに、微小硬度が22.4とかなり上昇し、この部分での石灰化の増強が考えられる。従ってCa, P, Mg元素の濃度ピークの変動は前例(図7, 8)と同様に周囲原成象牙質と比べて大きなピーク下降はみられず、Mgにおいては球間象牙質の辺縁、すなわち原成象牙質と接する部分においてはむしろピークおよびX線強度(CPS)は増大

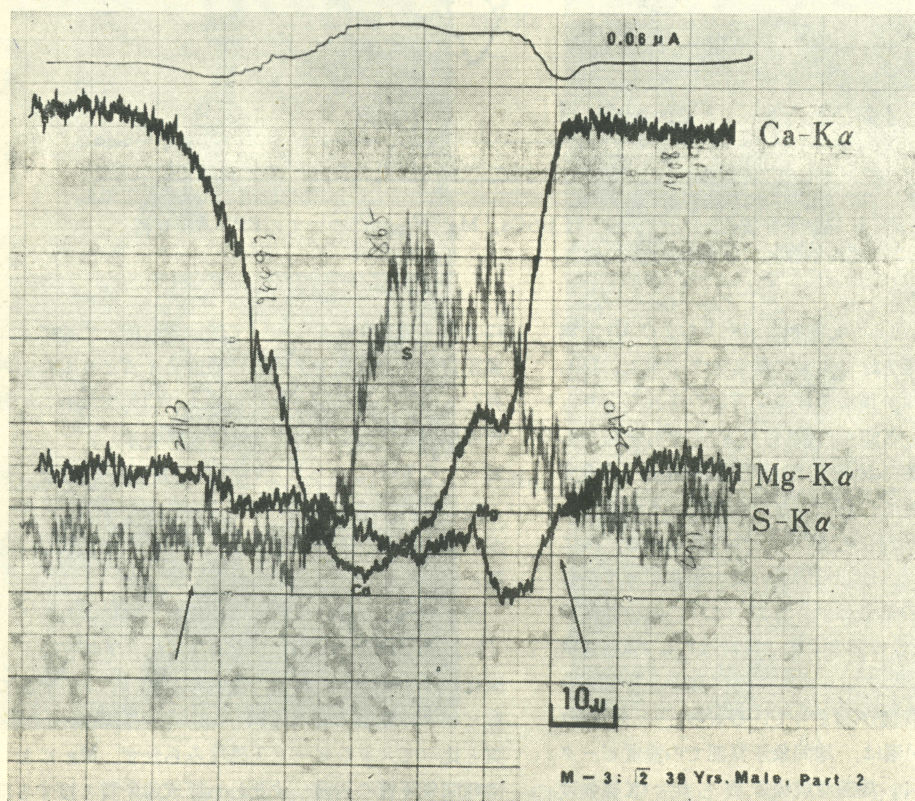
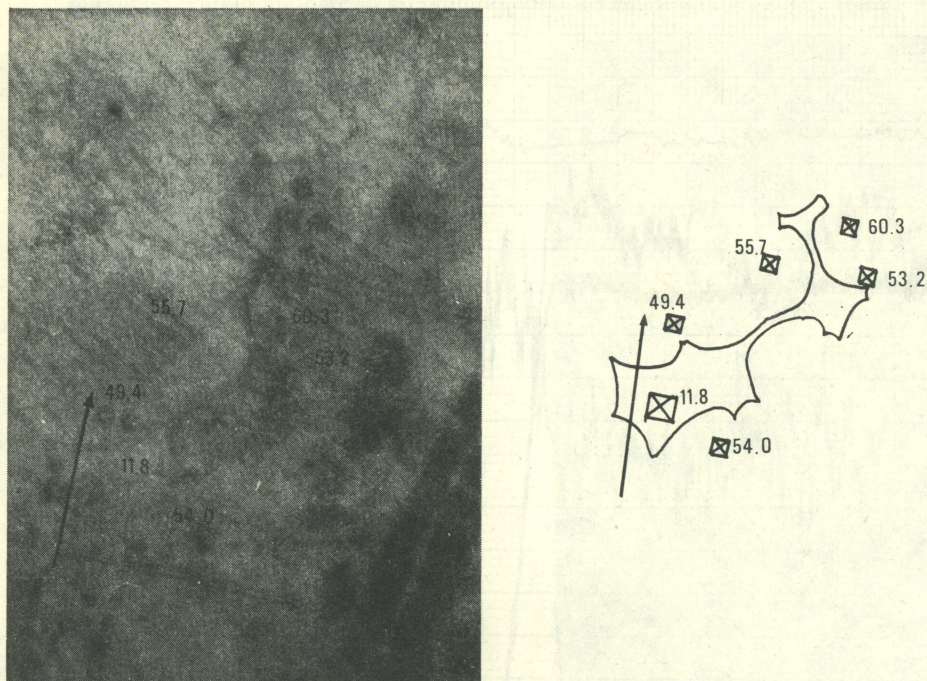


図5 球間象牙質(M-3: 39才, ♂, [I])の微小硬度とEPMAによるCa, Mg, S 元素の線分析

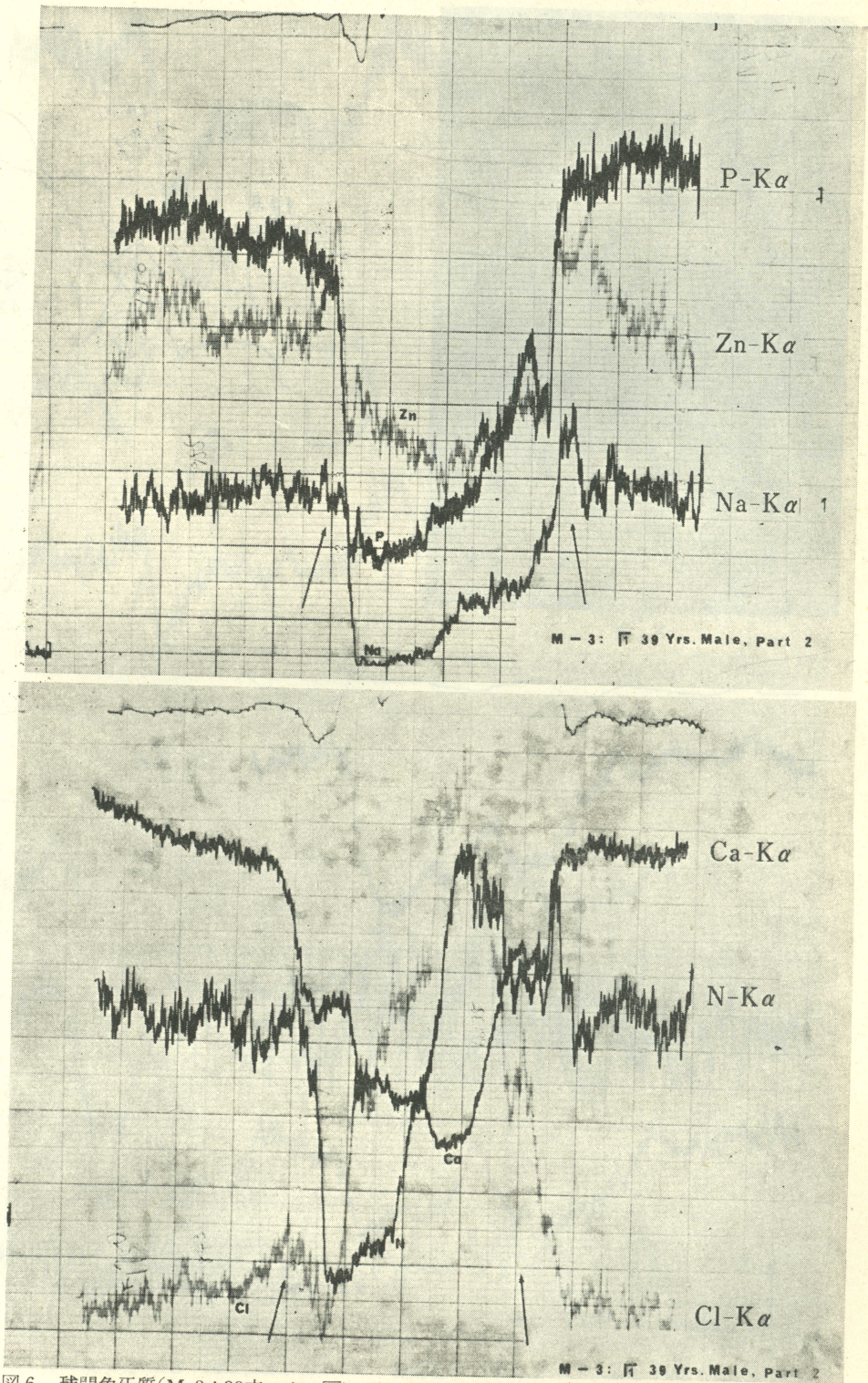


図6 球間象牙質(M-3: 39才, ♂, Ⅰ)の微小硬度とEPMAによる P, Zn, Na, Ca, N, Cl 元素の線分析

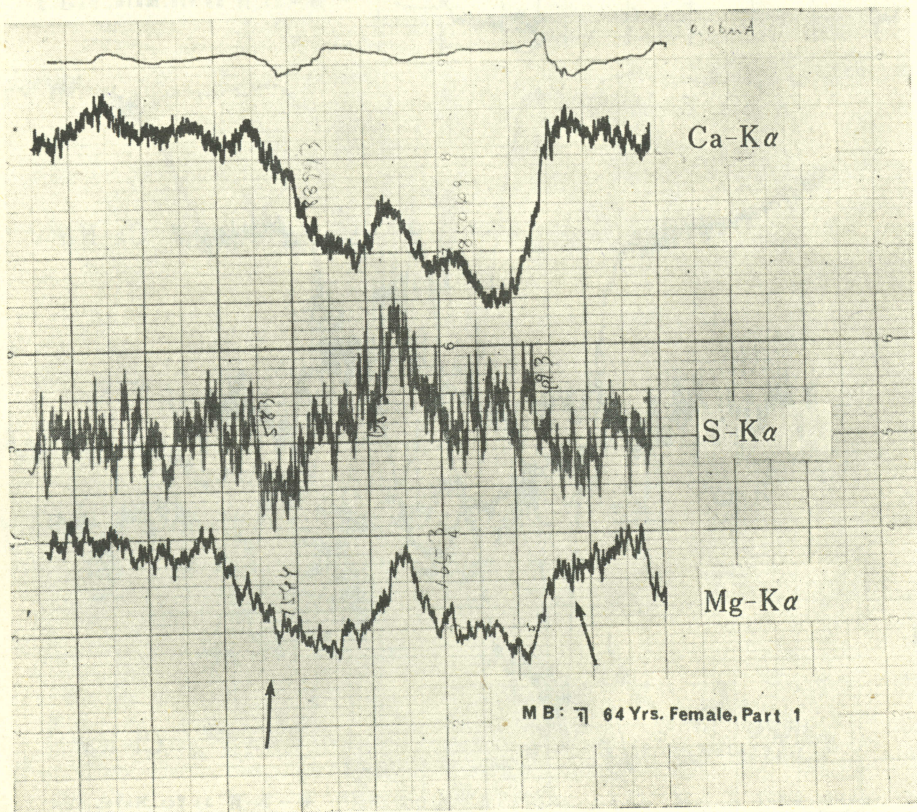
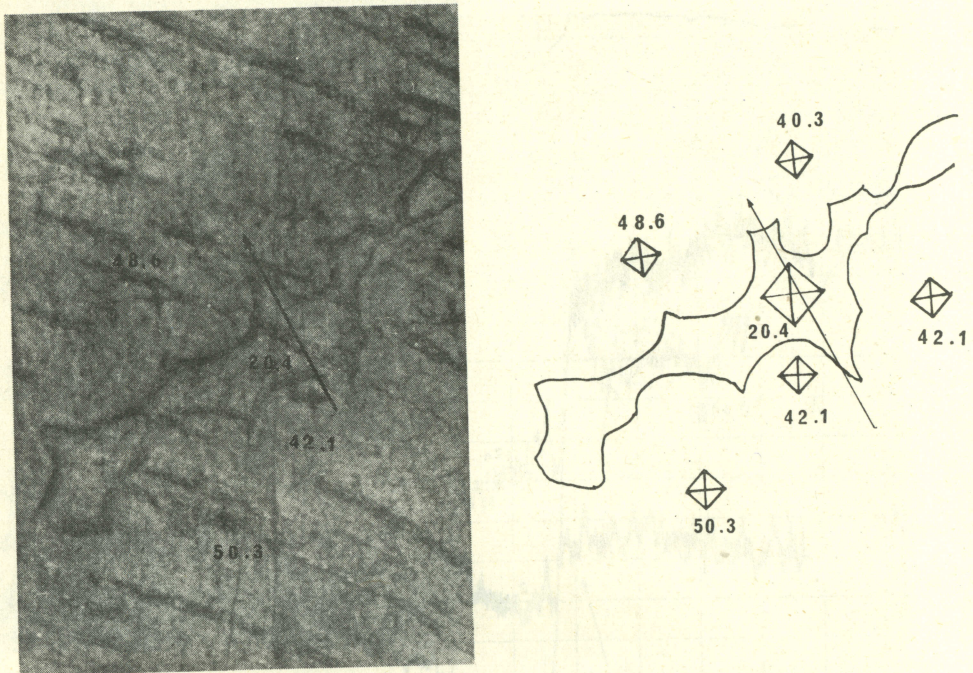


図7 球間象牙質(MB:64才, ♀, Ⅰ)の微小硬度とEPMAによるCa, S, Mg元素の線分析

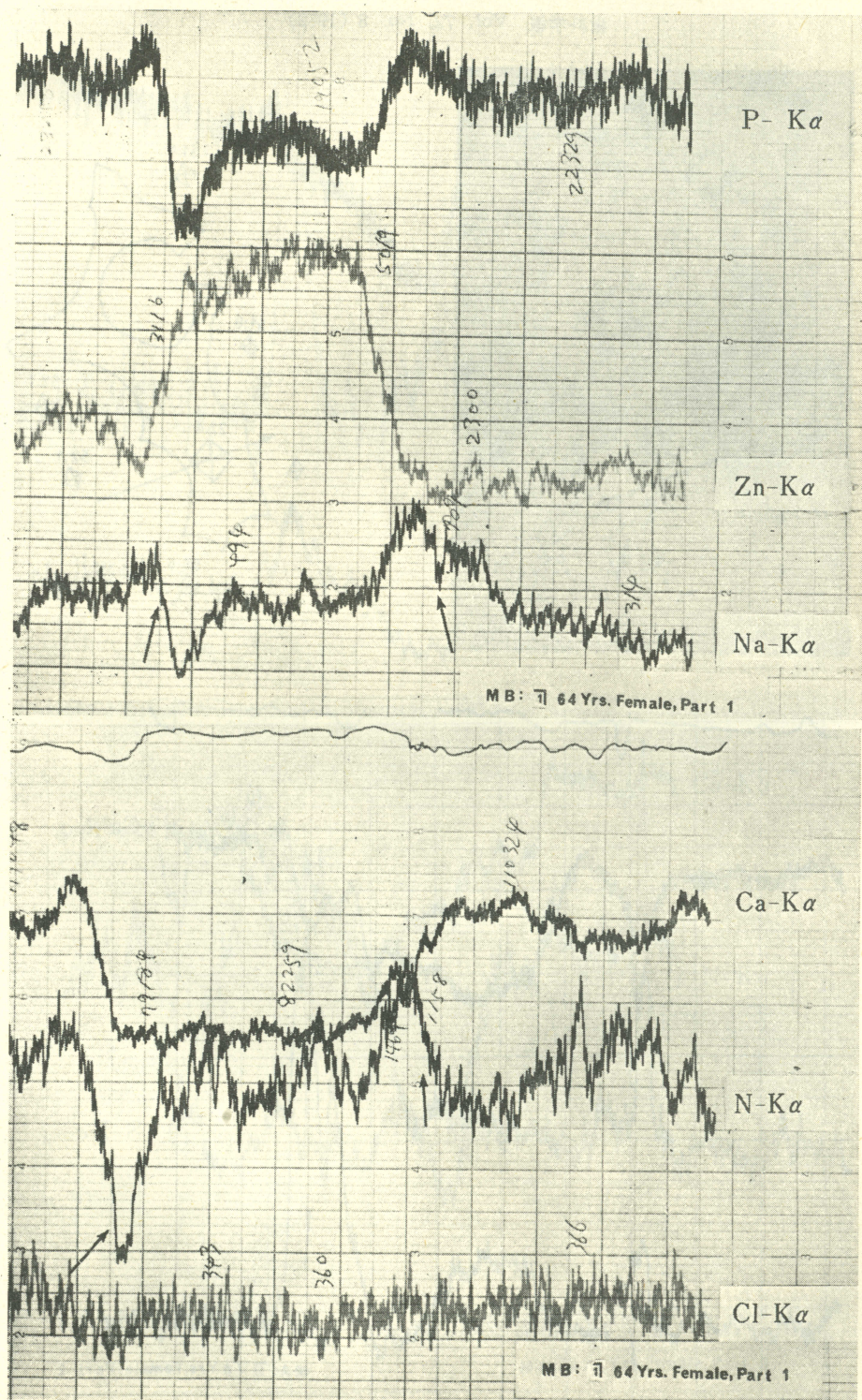


図8 球間象牙質(MB:64才, ♀, Ⅰ)の微小硬度とEPMAによる P, Zn, Na, Ca, N, Cl 元素の線分析

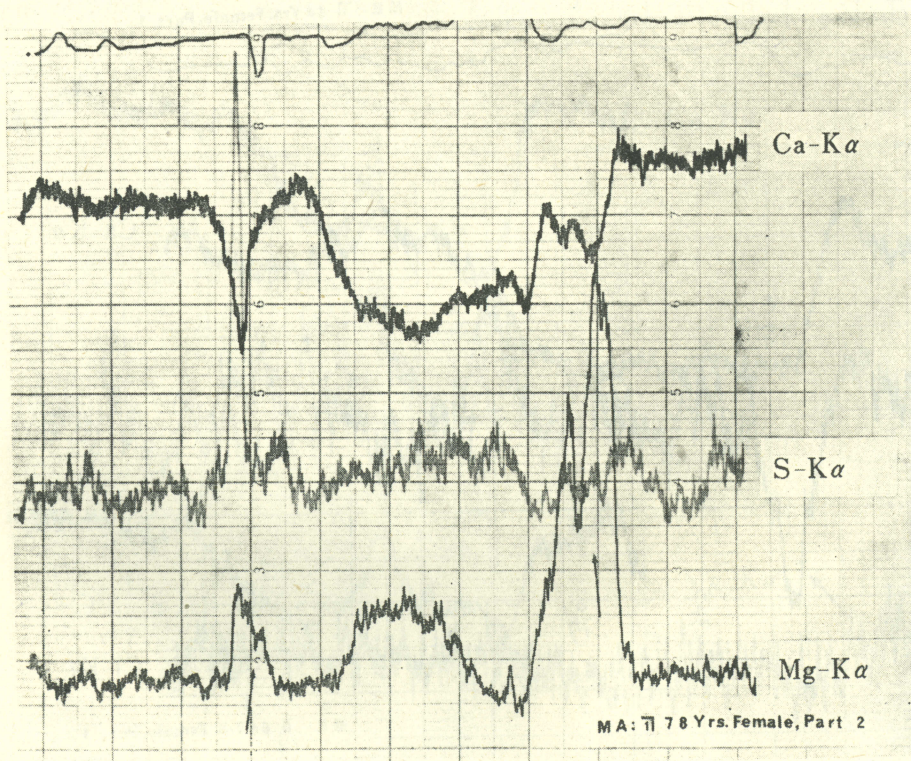
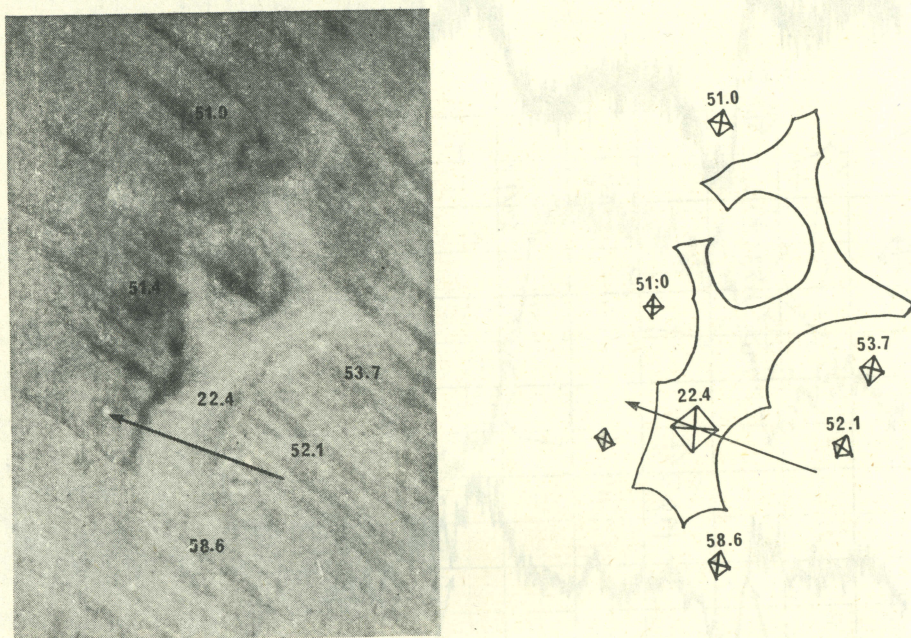


図9 球間象牙質(MA:78才, ♀, TI)の微小硬度とEPMAによるCa, S, Mg元素の線分析

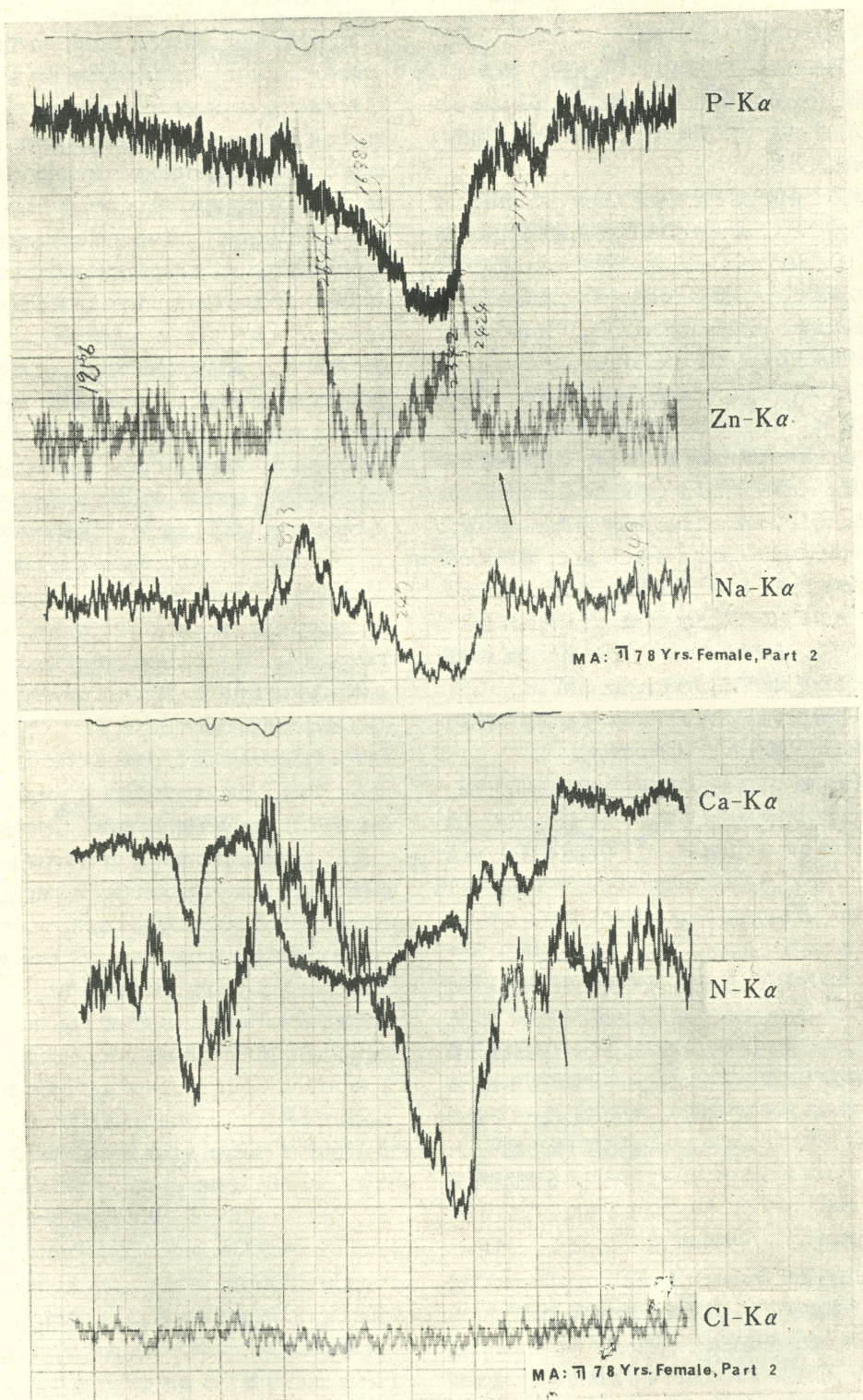


図10 球間象牙質(MA:78才, ♀, T1)の微小硬度とEPMAによる P, Zn, Na, Ca, N, Cl 元素の線分析

している場合のあることが示される。このように、球間象牙質縁での元素分布の増大は Mg 元素のみにかぎらず、微弱ではあるが Zn, Na 元素においても認められる。一方, S, Cl, N 元素については前例と全く同様の傾向を示している。

次に同じく高年令層の球間象牙質において、図11, 12に示されるごとく、微小硬度38.1の球間象牙質では、線分析(図11)において Ca, P 元素の濃度ピークは周囲原成象牙質の濃度ピークと殆んど同じレベルに記録されていることが示され、両組織の間には、Ca, P 元素の濃度分布の差が殆んどないものと考えられる。このことは、図12の面分析の結果においても全く同様に示され、反射電子像(RE)に示された形態の球間象牙質に分布する Ca, P 元素の濃度と周囲原成象牙質での Ca, P 元素濃度分布(白点密度)との濃度変化は全く判定することが困難となっている。そしてまた、これら面分析写真上に描かれた Line profile のピーク変化も殆んど平坦で、球間象牙質と周囲原成象牙質との Ca, P 元素分析濃度にはほとんど差のないことが明らかに示されている。これら高年令者で微小硬度の高い球間象牙質での Ca, P, Mg, S 元素の濃度分布と周囲原成象牙質でのそれらとの関係は、さらに図13, 14に示される球間象牙質においても同様に観察することができる(面分析と Line profile)。

3) 第3実験: 顕微X線法(Microradiography)成績

球間象牙質は周囲原成象牙質よりも一般的に石灰化度が低く、しかも年令増加に従ってその程度の増大がみとめられることが、上述の微小硬度の測定(第1実験)およびX-MAによる元素分析(第2実験)の結果から明らかに推測することができたが、さらにX線透過度によって石灰化度の差を観察したので、その結果の代表例をあげてみると次のごとくである。すなわち図15(a) (b)に22才と53才の下顎中切歯の研磨切片標本にみられた球間象牙質の光学顕微鏡写真像を示したが、(a)の比較的若年者の場合では、珐琅境界部の内側近くに数層にわたって多数の大小不同の円弧によって囲まれた球間象牙質が認められるが、(b)の中年者の場合においては発現する球間象牙質の数および層も少なく、その発現する部位も前者と比べて珐琅境界部よりかなり内側に移っていることが知られる。これら両者の Softex による Microradiogram (図16(a), (b))を観察すると、球間象牙質の発現する位置、形態、大きさ、数、発現層などの関係がさらに明らかに観察できる。(a), (b)いずれにおいてもX線透過度は各球間象牙質において互いに差異のあることが、その黒化度の違いから判定することができる。また一個の球間象牙質

においても、いずれの部分も全く均一な黒化度を示すとは限らず、ことにこの傾向は高年者である(b)の場合に強くみとめられる。すなわち(b)の球間象牙質は(a)のそれに比べて黒化度がやや低く、しかも内部的に不均一なものが多く、時には辺縁の黒化度の高い円弧の外側に接して、むしろX線透過度の弱い(やや白くみえる)細い線状帯がみられる(矢印)。同一歯牙における球間象牙質でも発現層の深さによって微小硬度が相異することが判明、外側層では内側のものよりも高い石灰化度を有することが前述の第1実験の結果から推測される。さらにまた、石灰化度が増大し周囲原成象牙質のそれに接近すると球間象牙質は透明度を増大し、遂には周囲の原成象牙質との境界が不明瞭となり、球間象牙質と判定することができなくなるものと考えられている。図17(a)に示された2層にわたる合計4個の球間象牙質は歯頸付近部に発現したものであって、透過光線に対して比較的不透明にみえるもの1個(Part 1)と透明にみえるもの3個(Part 2, 3, 4)とに区別することができる。すなわち、Part 1は一般的に球間象牙質と称される石灰化度の低いものであり、Part 2, 3, 4はこれよりも石灰化度の高いところの、いわゆる透明球間象牙質と称されるものである。これらは(b)の Microradiogram で示されるごとく、X線透過度が Part 1では明らかに強く、Part 3ではかなり弱められ、さらに Part 4では周囲原成象牙質と殆んど同程度の透過度を示し、球間象牙質の存在は殆んど判別できない程度である。球間象牙質の透明化、すなわち石灰化度の周囲原成象牙質レベルへの接近が Ca, P, Mg 元素の濃度分布の変動としてはいかに現われるかについて、Part 1と Part 3の球間象牙質の面分析および Line profile をえがいてみたところ図18, 19の結果を得た。その結果、不透明像を示す Part 1では反射電子像(RE)(図18)にみられるように明らかに周囲象牙質と区別できる反射像を示すのに対し、Part 3ではそのREで周囲象牙質と殆んど区別できないことが図19に示されている。元素の面、線分析の結果も Part 1では球間象牙質と外周との区別は Ca, P, Mg 元素においてかすかに可能であるが(図18)、Part 3では Ca, P 元素の面分析像では不可能となっている。一方 Line profile では Part 1で Ca, Mg, P 元素のピークの弱い下降がみられるのに対し、Part 3では Ca, P の下降はみとめられず、Mg においてはむしろ明らかに上昇している。S 元素においては Part 1, Part 3 共に外周との濃度変化は面分析および Line profile においてほとんどみとめられない。

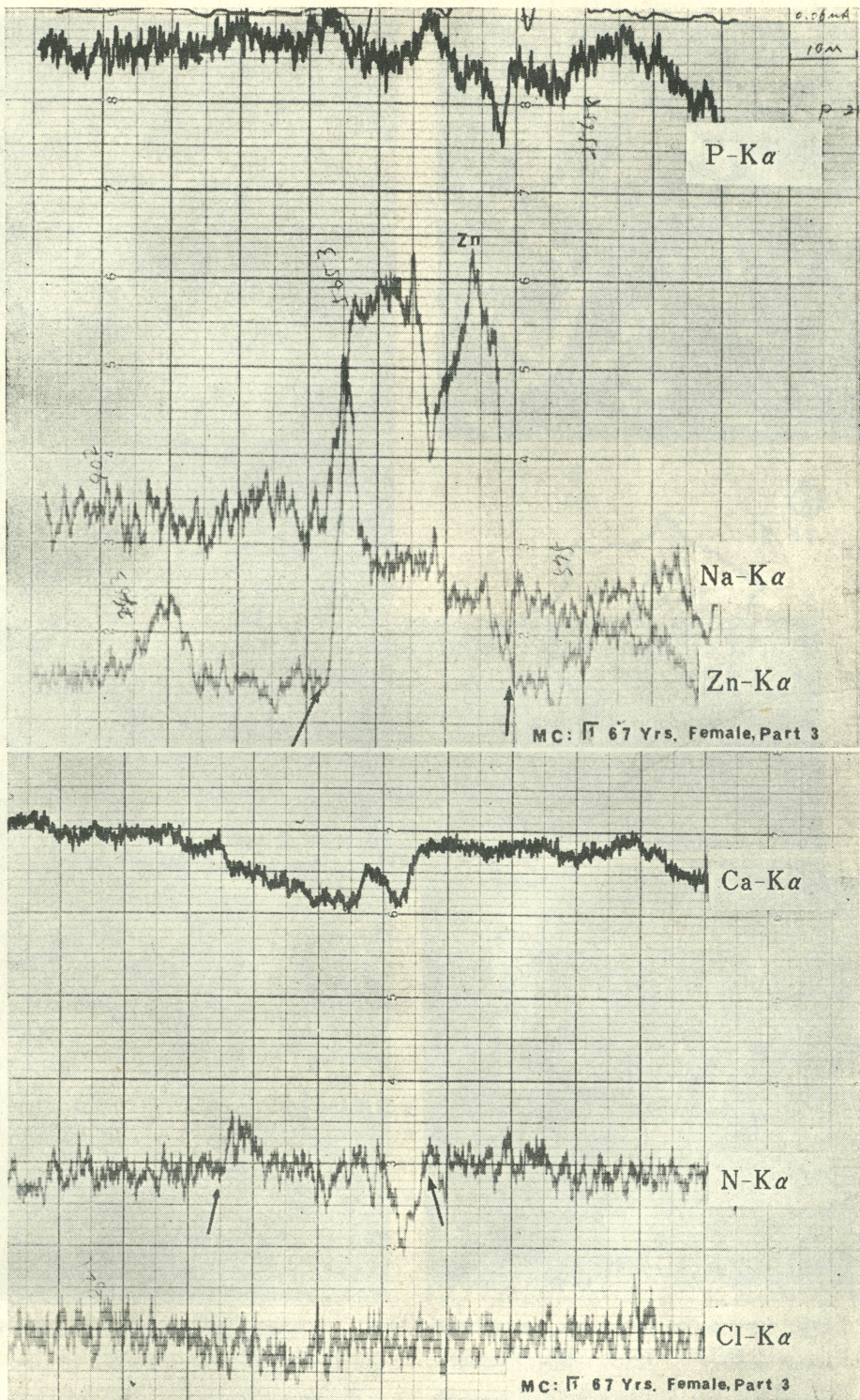


図11 球間象牙質(MC: 67才, ♀, Ⅰ)のEPMAによる P, Na, Zn, Ca, N, Cl 元素の線分析

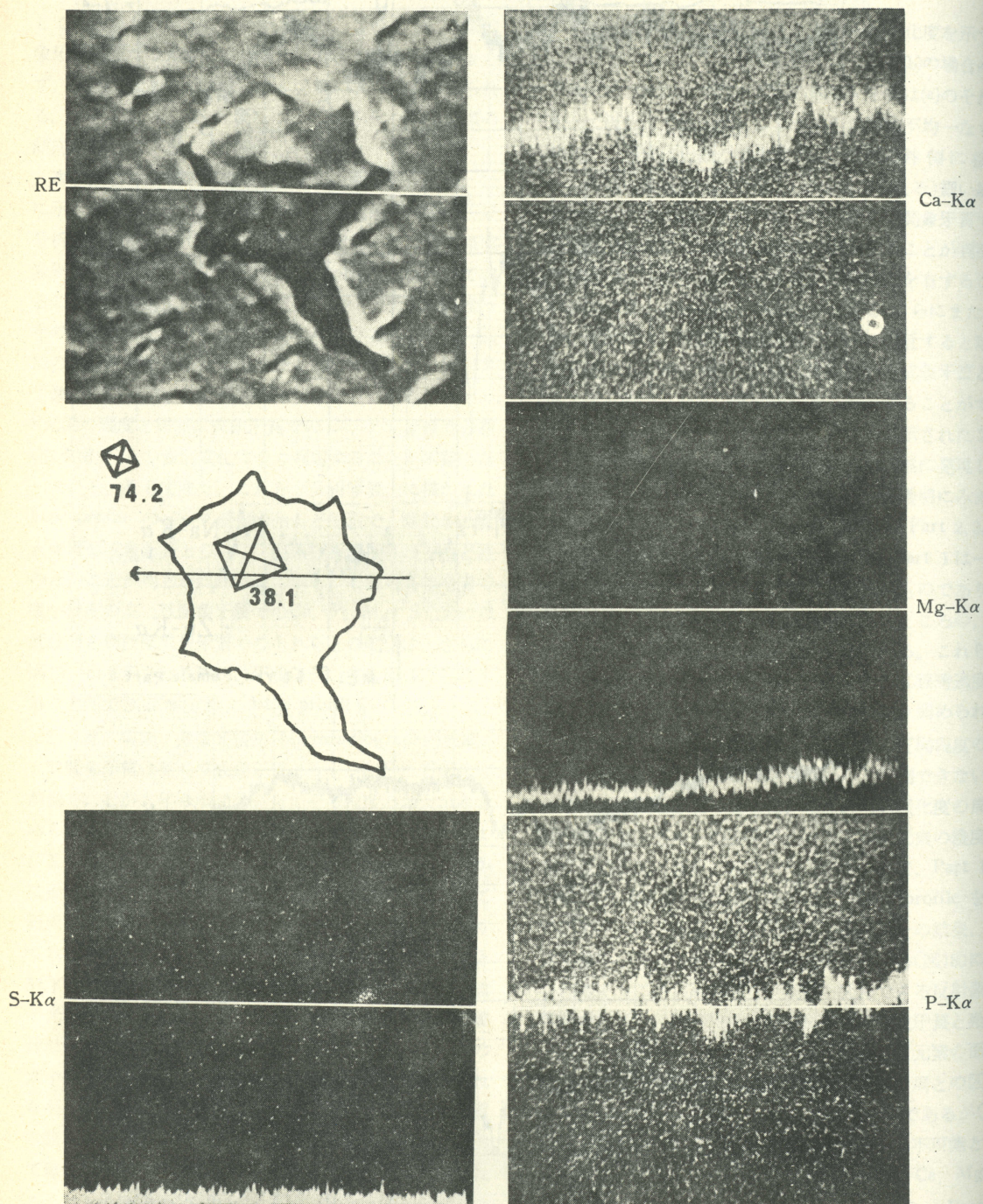


図12 球間象牙質(MC: 67才, ♀, [I])の微小硬度と EPMA による Ca, Mg, P, S 元素の線分析(Line Profile)と面分析。×660

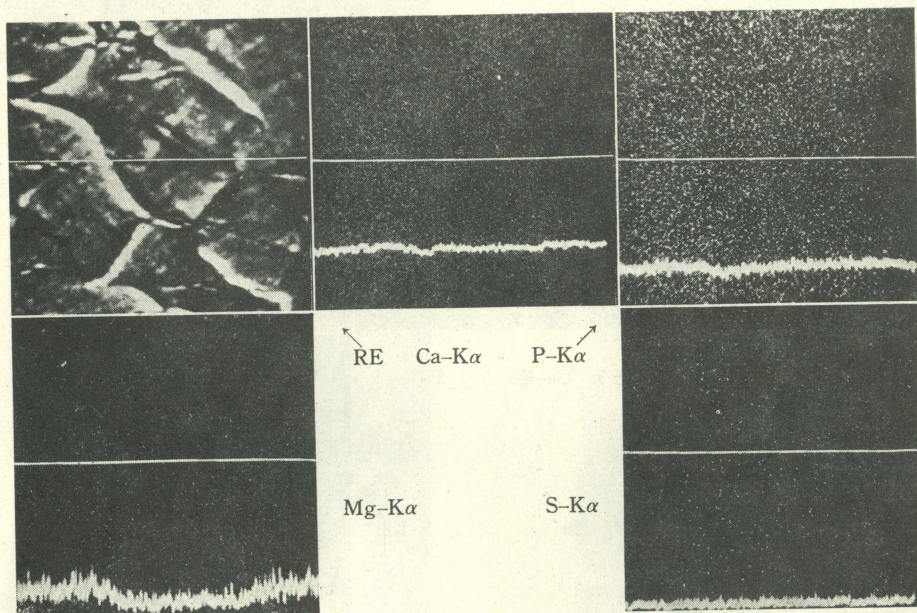
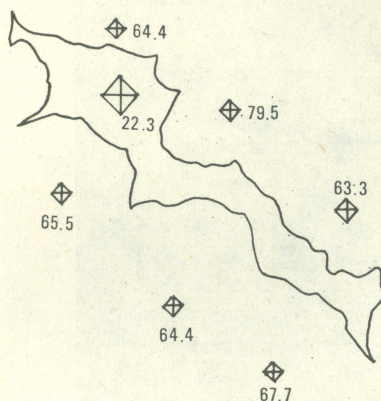
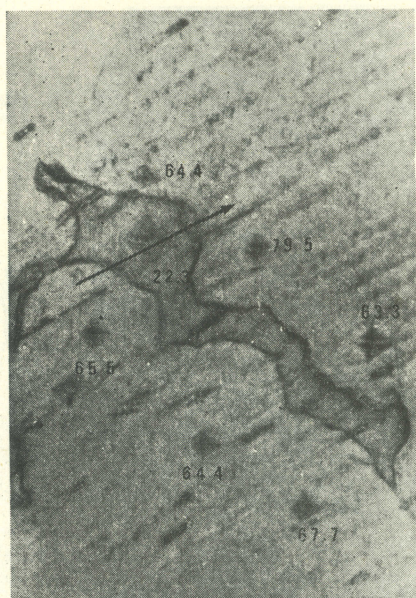


図13 球間象牙質(T-3:62才, ♂, I)の微小硬度と EPMA によるCa, Mg, P, S 元素の線分析 (Line Profile)と面分析。×660

4) 第4実験：球間象牙質面積測定成績

球間象牙質の石灰化度が高まり周囲原成象牙質の石灰化度と接近したレベルに達すると、その球間象牙質は周囲の象牙質との境界が不明瞭化し、やがてはその形態、存在を認めることが不可能となることが前述の Micro-radiogram の観察(第3実験)によっても明らかにされ

た。そこで球間象牙質の発現と、その増令的消長について検討するために歯牙の一断面における球間象牙質の占める面積の変動、すなわち一平面上に発現する球間象牙質の総計面積と歯冠象牙質(唇舌側歯頸部をつらねた線より切端側に含まれる歯髓腔を除いた部分(図1))の占める面積との比率(%)が増令的に変化する状態を検討し

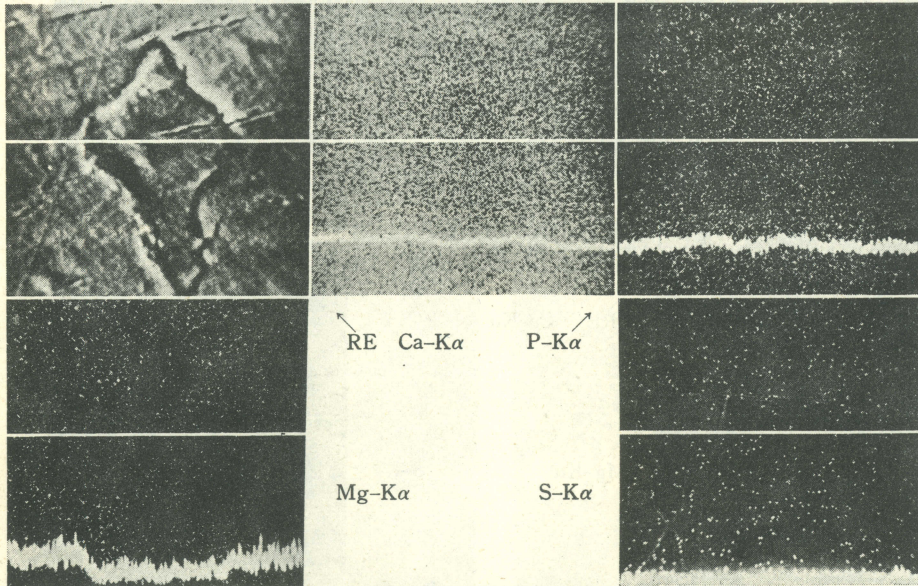
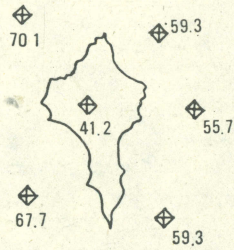
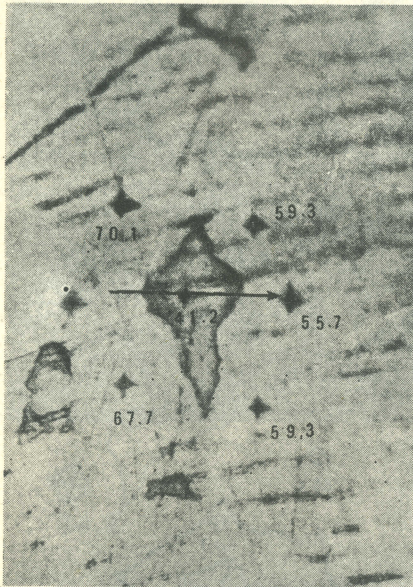


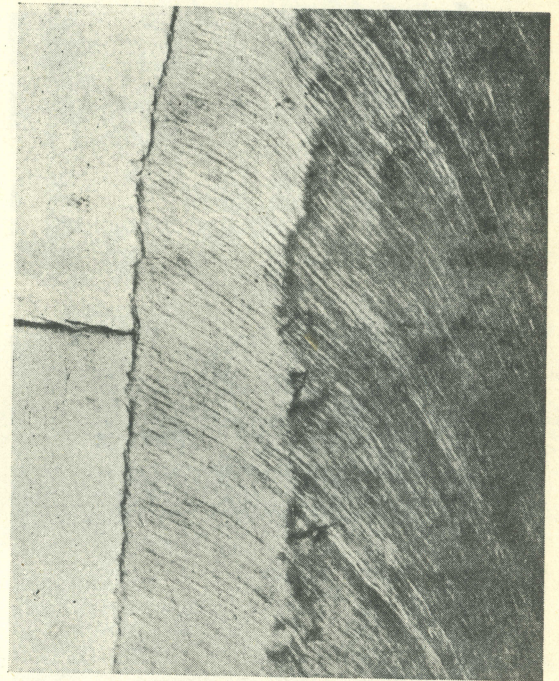
図14 球間象牙質(T-3:62才, ♂, T1)の微小硬度とEPMAによるCa, Mg, P, S元素の線分析 (Line Profile)と面分析。×660

たところ表5～7および図20のごとき結果を得た。この表6および図20で示されるごとくに平均して各年代共に下顎中切歯の歯冠中央縦断面では、唇側に発現する多数の球間象牙質の占める合計面積よりも舌側に現われる多数の球間象牙質の合計面積の方が大であるといえる。つまり、おおむね舌側象牙質の方が球間象牙質の

保有面積が大であることがみとめられる。この傾向は各年代別の平均値においてもみられる。すなわち表6には年代別の歯冠唇側、舌側象牙質と球間象牙質の占める面積の変動が示され、若年者歯牙では高年者に比べて球間象牙質の占有する面積値が大であり、ことに舌側においては10才代と50才代との平均面積の差は、約 1200×10^{-6}

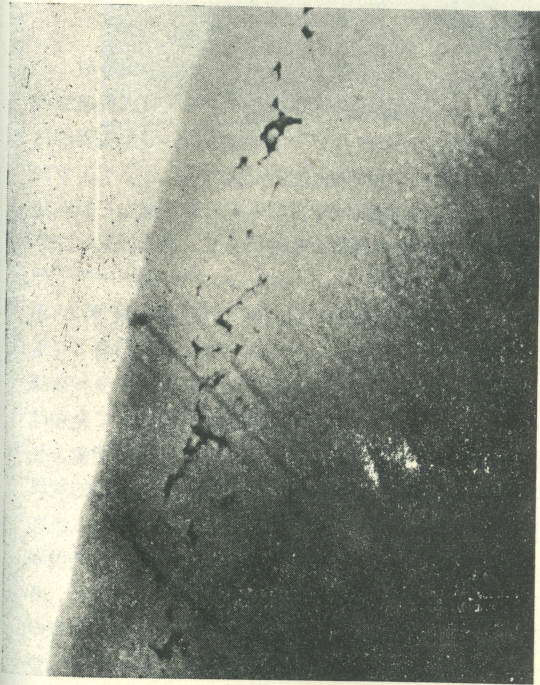


(a) 若年者(2—12:22才, ♀, I1) ×115

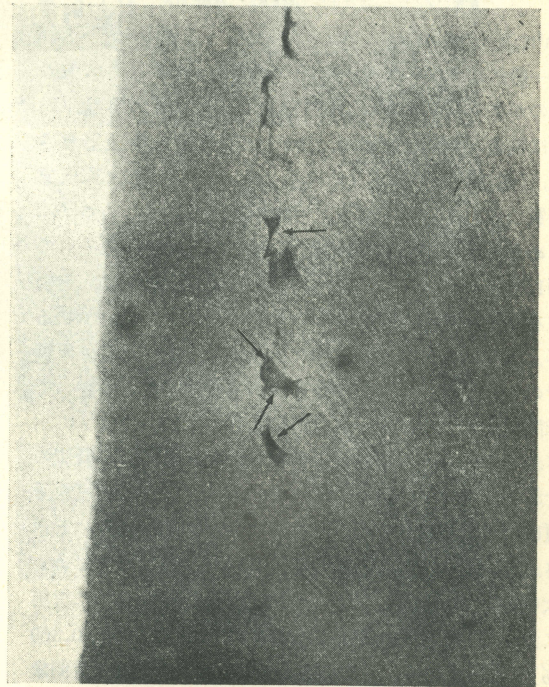


(b) 老年者(5—29:53才, ♀, I1) ×115

図15 若年者と老年者との象牙質における球間象牙質の発現形態の変動

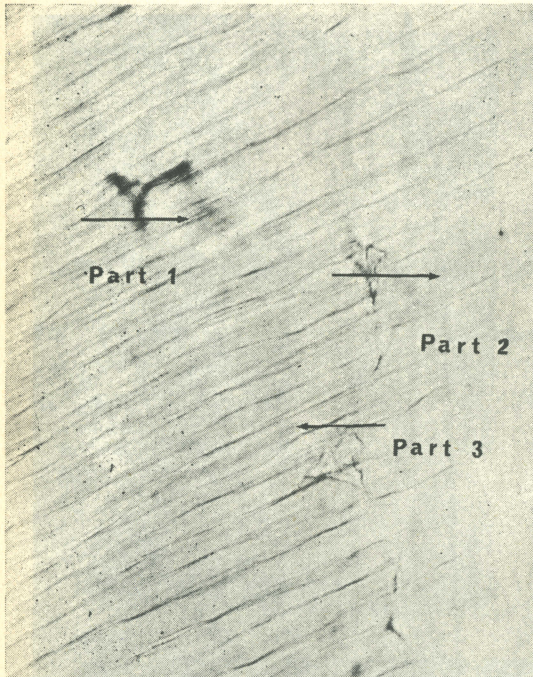


(a) 若年者(2—12:22才, ♀, I1) ×115

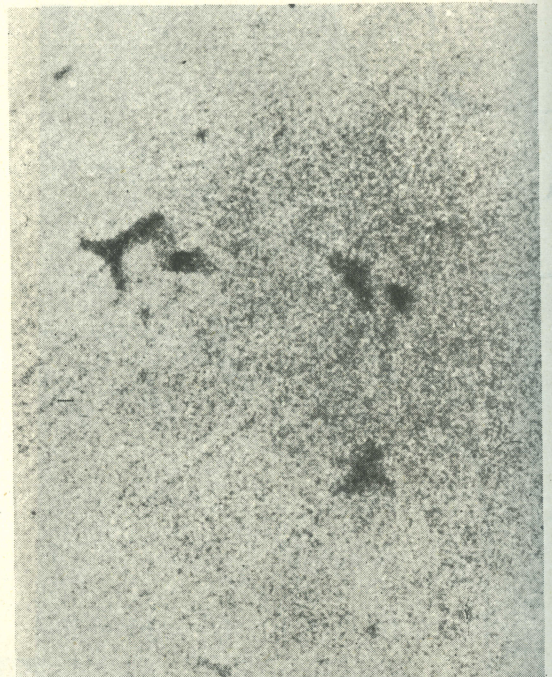


(b) 老年者(5—20:53才, ♀, I1) ×115

図16 図15における同一部位の顕微X線像による球間象牙質石灰化度の変動



(a) 透明象牙質部の球間象牙質 ×450



(b) 左の顕微X線像 ×450

図17 透明象牙質部における球間象牙質の透明化と顕微X線像による石灰化度の観察(5—10:54才, ♀, [I])

cm²に及んでいる。

一般に球間象牙質の占有面積は唇側のものより舌側のものが各年代別平均においてもかなり大であり、総平均では前者は $412 \times 10^{-6} \text{cm}^2$ 、後者は $693 \times 10^{-6} \text{cm}^2$ と計算され、後者は前者の約1.8倍に達しているのに対し、原成象牙質の占める面積は唇側と舌側で平均して著しい差はみとめられず、平均して唇側がわずかに大で舌側のその約1.03倍にすぎない。また、この原成象牙質では、その占有する面積は若年者より増令的にわずかに増大するが、高年者との間の面積差は比較的少なく、球間象牙質でのそれとは比べものにならない増大率である。従って球間象牙質の原成象牙質に対する面積比(%)は表7に示されるごとく、各年代共に舌側球間象牙質の方が唇側のそれよりもはるかに大であって、前者と後者の歯冠象牙質に対する平均比率(%)は、それぞれ0.556と0.311と示されている。そして、それらは共に10才代のものが最も大(唇側:0.416%, 舌側:1.521)で、以後加令的に次第に減少し、60才代で最小値(唇側:0.251%, 舌側:0.369%)をとっている。このことから増令的に唇側・舌側象牙質内に発現する球間象牙質は次第に消失して行くことが推測される。

IV 総 括

大小さまざまな円弧によって囲まれ不規則な外形、大きさをもった球間象牙質(球間区)は、象牙質成長速度の最も速い場所といわれる¹¹⁾¹²⁾歯冠象牙質の珮象境界部付近に多数発現し、比較的大型の石灰化球によってとり囲まれている。この球間象牙質の発現分布状態ならびに発達の程度については多数の報告があり、個人的および年令の差異によって異なることが知られている⁴⁾⁷⁾¹⁴⁾¹⁸⁾²⁰⁾²²⁾²⁶⁾²⁸⁾²⁹⁾。すなわち、各個体間に著しい発達の変異があり、歯種間にも、一般に永久犬歯と切歯は大臼歯よりも良く発達、しかも唇側よりも舌側象牙質中により多数認められ、上下顎歯牙別では下顎歯牙の方が概して発達は良好といわれている。一方、乳歯においては乳切歯よりも乳臼歯、とくに第2乳臼歯によく発現し、上下顎の差異は殆んどみられなく、分布状態も歯冠象牙質中に広汎に散在するものが多いといわれているが、全体的な発現率は永久歯の98~100%⁷⁾¹⁸⁾²⁵⁾²⁶⁾²⁹⁾と比べてかなり低く、0~36~52%と報告されている¹⁴⁾²⁰⁾²⁸⁾。かかる発現分布の状態とその発現率は、いずれの研究者も1本の歯牙について得られた1枚の研磨標本によって判断しているが、これは理論的にみて充分であるわけではなく、連続研磨

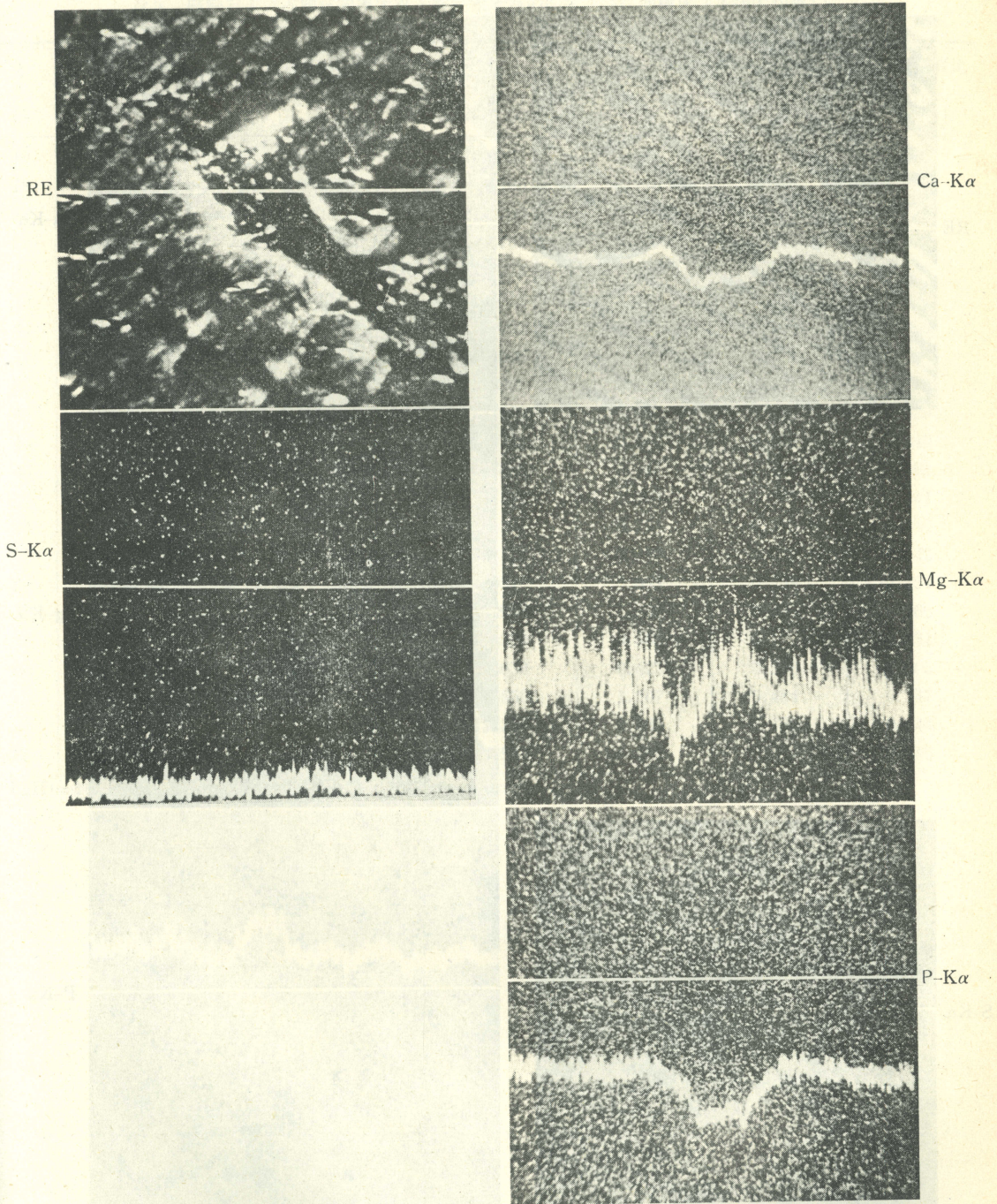


図18 球間象牙質(5—10歳才, ♀, [I, Part:1]のEPMAによるCa, Mg, P, S元素の線分析 (Line Profile)と面分析。×660

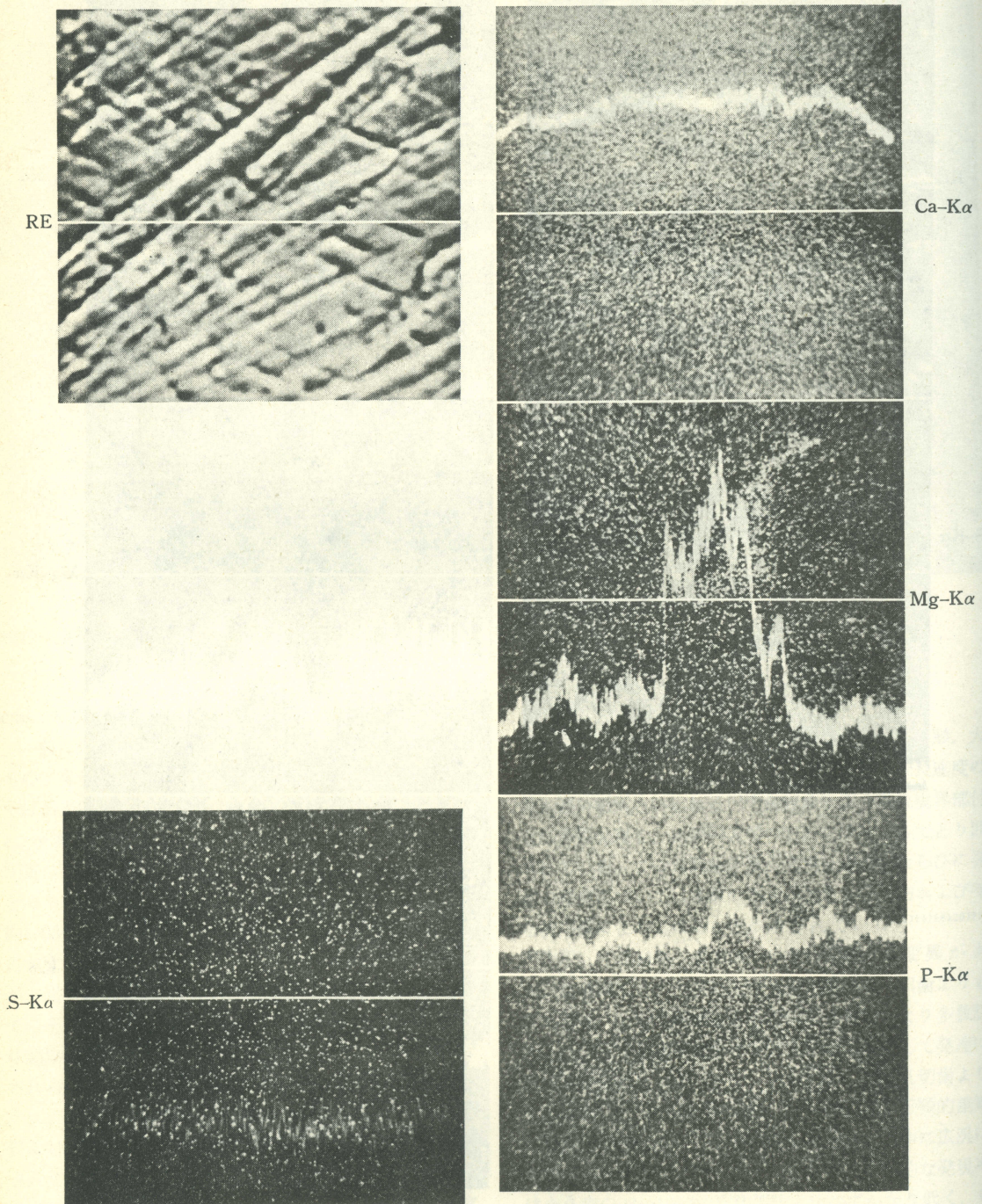


図19 球間象牙質(5—10 : 54才, ♀, [I, Part : 3])の EPMA による Ca, Mg, P, S 元素の線分析 (Line Profile)と面分析。×660

張：球間象牙質の石灰化に関する研究

表5 唇側および舌側球間象牙質と歯冠象牙質の面積並びに面積比（下顎中切歯）

（計測値抜粋）（ cm^2 ， $\%$ ）

年 齢	球間象牙質の面積（ cm^2 ）		歯冠象牙質の面積 D（ cm^2 ）	唇舌側部 面積比（ $\%$ ） $\left(\frac{\text{LaID} + \text{LiID}}{\text{D}}\right)$	唇側部面積比 $\left(\frac{\text{LaID}}{\text{D}}\right)$ （ $\%$ ）	舌側部面積比 $\left(\frac{\text{LiID}}{\text{D}}\right)$ （ $\%$ ）
	唇側部 LaID	舌側部 LiID				
19	0.000338	0.001382	0.108358	1.587	0.317	1.275
19	0.000869	0.001878	0.106186	2.286	0.520	1.766
22	0.000330	0.000439	0.113700	0.676	0.290	0.386
23	0.000570	0.001263	0.124764	1.4673	0.461	1.012
23	0.000433	0.000899	0.117274	1.136	0.369	0.767
29	0.000455	0.001115	0.135713	1.249	0.362	0.887
31	0.000218	0.000477	0.130222	0.1534	0.168	0.366
35	0.000075	0.000254	0.101008	0.325	0.071	0.254
37	0.000589	0.000434	0.133995	0.763	0.439	0.324
39	0.000194	0.000675	0.127609	0.681	0.152	0.529
45	0.000128	0.000407	0.119713	0.447	0.107	0.340
46	0.000483	0.000818	0.137885	0.944	0.351	0.593
47	0.000214	0.000185	0.131382	0.304	0.163	0.141
48	0.000419	0.000586	0.133298	0.753	0.313	0.440
50	0.000683	0.000457	0.134111	0.850	0.509	0.342
50	0.000521	0.000593	0.130570	0.853	0.399	0.454
52	0.000700	0.000854	0.150948	1.030	0.464	0.566
54	0.000178	0.000582	0.134924	0.563	0.132	0.431
60	0.000254	0.000239	0.116636	0.423	0.218	0.205
60	0.000582	0.000933	0.125550	1.207	0.464	0.747
67	0.000218	0.000286	0.117217	0.430	0.186	0.244
68	0.000700	0.000188	0.129583	0.199	0.054	0.145

LaID＝唇側球間象牙質（ cm^2 ），LiID＝舌側球間象牙質（ cm^2 ）

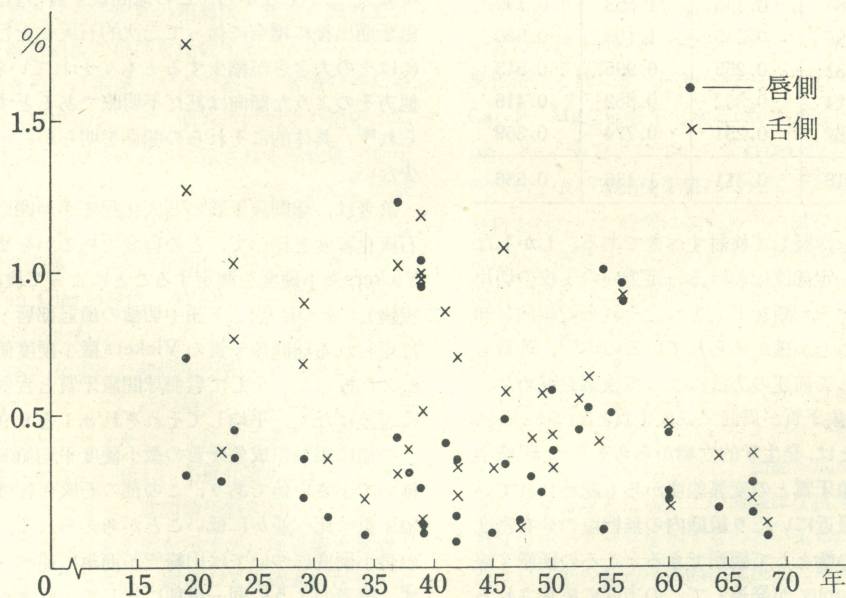


図20 球間象牙質面積比の年令的変動

表6 唇側および舌側における象牙質と球間象牙質の面積の年代的变化(下顎中切歯) (cm²)

年 齢	唇 側 部		舌 側 部	
	象 牙 質 (LaD)	球 間 象 牙 質 (LaID)	象 牙 質 (LiD)	球 間 象 牙 質 (LiID)
10~	0.048361~0.052371 平均 0.050366	0.000338~0.000869 平均 0.000604	0.055989~0.057825 平均 0.056907	0.001382~0.001878 平均 0.001630
20~	0.058193~0.066417 平均 0.062688	0.000301~0.000570 平均 0.000418	0.053232~0.062121 平均 0.058503	0.000439~0.001263 平均 0.000916
30~	0.044704~0.081570 平均 0.061537	0.000053~0.001195 平均 0.000337	0.046620~0.068797 平均 0.058744	0.000210~0.001396 平均 0.000660
40~	0.059566~0.067404 平均 0.063231	0.000106~0.000516 平均 0.000468	0.057824~0.075358 平均 0.067056	0.000317~0.001081 平均 0.000674
50~	0.063224~0.079828 平均 0.069272	0.000700~0.000970 平均 0.000468	0.054051~0.071120 平均 0.064266	0.000095~0.000854 平均 0.000555
60~	0.055231~0.073262 平均 0.064130	0.000218~0.000700 平均 0.000384	0.051613~0.067056 平均 0.059719	0.000188~0.000933 平均 0.000458
平 均	0.063115	0.000412	0.061348	0.000693

表7 唇側および舌側における球間象牙質の面積比の年代的变化(下顎中切歯) (%)

年 齢	唇 側 部		舌 側 部	
	唇側象牙質 に対する%	歯冠象牙質 に対する%	舌側象牙質 に対する%	歯冠象牙質 に対する%
10~	1.221	0.416	2.897	1.521
20~	0.664	0.345	1.553	0.749
30~	0.695	0.335	1.103	0.520
40~	0.531	0.255	0.995	0.513
50~	0.514	0.352	0.882	0.416
60~	0.482	0.251	0.774	0.369
平 均	0.618	0.311	1.136	0.556

または脱灰切片を作製して検討すべきである。しかしながら、各歯牙の一定部位における一定方向の1枚の切片についての所見から判断を下しても、それらの傾向を知るには大過ないことが確かめられているので²⁶⁾、著者もこの方法にならって前述の方法によって検索を進めた。

ところで、球間象牙質が周囲原成象牙質と比べると石灰化程度が低いことは、発生学的立場から考えられ、組織学的染色性の原成象牙質との変異態度からも認められている¹²⁾¹³⁾¹⁶⁾²³⁾³¹⁾。最近にいたり組織内の無機塩の分布密度を顕微鏡レベルの像として観察できるところの顕微X線法 Microradiography が発達してこの方面に応用される

ようになってから、球間象牙質の石灰化程度をこの Microradiography と組織学的ならびに組織化学的な染色方法によって検討された報告が多数みられる⁵⁾¹⁵⁾¹⁶⁾³¹⁾。すなわち、球間象牙質ではX線透過度が周囲原成象牙質よりも明らかに高く、この部の石灰化度が低いことが一般に示され、今回著者もまた同様の結果を得ている(第3実験)。しかしながら、この球間象牙質の石灰化程度は、歯牙萌出後に増令に伴って二次的石灰化を行ない、ついにはその大きさが縮小するともいわれているが⁴⁾²²⁾²⁵⁾、他方そのような傾向は甚だ不明瞭であるとする報告もみられ²⁶⁾、具体的にそれらの関係を明らかに示したものは少ない。

著者は、球間象牙質の石灰化程度が周囲原成象牙質の石灰化程度と比べて、どの程度であるかをまずその部の Vickers 微小硬度を測定することによって検討した(第1実験)。その結果、下顎中切歯の歯冠部唇・舌側象牙質に現われる球間象牙質の Vickers 微小硬度値は平均して 8.7 であった。そして唇側球間象牙質と舌側のものとは著差はなく、平均してそれぞれ 8.1 と 8.9 であった。この値は周囲原成象牙質の微小硬度平均値 60.1 と比べて極めて小さい値であり、この部の石灰化程度が周囲原成象牙質に比べ遙かに低いことが考えられる。球間象牙質の微小硬度については山崎⁴³⁾が簡単に述べているにすぎず、著者のように同一歯種に対して 100 本もの多数にわ

たり統計的に検討した報告はない。山崎は46才、右下顎犬歯歯冠部に出現した数個の球間象牙質について、そのVickers 硬度値が40~55であったと記述し、一般原成象牙質の微小硬度値の42~67に比べてやゝ硬度の低いことを示している。これらの値は著者の行なった球間象牙質についての測定結果が3.6~25.9の間にあって、平均すると8.7となり、著しく異なっているが、これは測定に用いた微小硬度計(著者の場合は軽荷重微小硬度計)の相異、測定条件(荷重、負荷時間)の相異、その他試料調製の相異などによって現われた結果と思われる。しかしながら原成象牙質の微小硬度についてはこれまでも報告されているが²⁴⁾²⁷⁾著者の場合も平均60.1(平均56.2~63.5)の値をとり、山崎⁴³⁾、その他²⁴⁾²⁷⁾のものと大差はみられない。著者の測定によると球間象牙質が、3.6~25.9という広範囲の硬度分布を示したが、これは測定歯牙の年令分布が11才~83才という若年から老年に広くわたっているために起った現象、つまり年令増加に伴う球間象牙質の二次的石灰化が示されたのではなかったかと考えられ、事実年令別に区分した球間象牙質の微小硬度の平均値において、それらが明らかに示された。すなわち、10才代の球間象牙質は平均6.0の硬度値であるのに対し、20才、30才、40才、50才、60才、70才代と次第に年令が増加するに従って、それぞれ7.4、6.7、6.9、9.4、11.0、16.0とわずかながら硬度の増大がみられる。また球間象牙質周囲の原成象牙質の微小硬度も若年から老年にかけて10才代平均56.2から漸次増大して20才代57.4、50才代63.7、70才代では平均63.5を示している。若年者と老年者との間の球間象牙質の石灰化程度の相異は、両者の顕微X線像におけるX線透過度の程度を比較することによっても示すことのできるのは前述した点である。著者の得た第3実験における結果からみて、明らかに53才の歯牙にみられる球間象牙質と22才のものに示される黒化度とを比較すれば、後者の方が大であることが観察された。片桐¹⁶⁾は人の第二象牙質の石灰化像について、石灰化度とその基質の示す染色像との関係を知るために、ヘマトキシリン染色、Van Gieson染色、Alcian Blue染色、PAS反応などの染色反応を行ない、これと同時に顕微X線像Microradiogramを求め、無機塩の密度分布像との関連性につき検討を行なった。その結果、一般に原成象牙質ではX線吸収度とヘマトキシリンによる染色強度とは一部の例外を除いて良く一致し、石灰化度の高いもののほどその染色性は強いと述べ、球間象牙質部はヘマトキシリンに殆んど染らず未石灰化像を示すが、幼若象牙質層よりはいくぶん強く染色され、両者のX線透過度が殆んど

同一程度(同一歯牙において)であるのに、かような差異のみられるのは、両者の基質間の性状の相異によって現われる現象であろうと述べている。従って上述の顕微X線像における年令的相異は、当該する球間象牙質の石灰化度の加令的増大と共に、その部分の基質の加令的变化の差によっても影響をうけることが考えられる。

ところで、球間象牙質の微小硬度およびX線吸収度が周囲原成象牙質よりも小さいことから、この微小部分の石灰化度が周囲象牙質より一応低いものと推測された。しかもこの球間象牙質における微小硬度もX線吸収度も年令増加に伴って共に増大することが判明したので、この球間象牙質部における無機塩の分布、さらに精細に当該部の石灰化にあずかるCa, P, Mg, S, ZnおよびNa, Cl, N元素の分布状態について微小部X線分析装置(EPMA)を用いて検討を行なった。

この微小部X線分析装置の開発はGunieおよびCastingらが1949年に電子顕微鏡に蛍光X線分析の技術を応用したことから出発して、幾多の改良が加えられ今日にいたったものであるが、歯学方面での応用研究、ことに硬組織研究においては未だ日が浅いようである。Boydeら(1961)²⁾は、ラット切歯の珪瑯質についてCaおよびFeの面分析と線分析をはじめて試み、その後(1963)³⁾さらに珪瑯質の面分析、線分析を行なっている。我国においては、Takuma(1966)⁴²⁾、Suga, 他(1967)³⁴⁾らの行なった珪瑯質や象牙質のCa, P, Mg, S, N元素の点、線分析が初期の研究のようである。この分析法を応用した元素分析の対照となった硬組織試料は形成期や石灰化完了後の人やラットの珪瑯質や象牙質、その他珪瑯質、象牙質の天然または人工的蝕病巣、弗化物による珪瑯質弗素化帯など甚だ多種にわたっており、従って分析元素もCa, P, Mgなどを主とするほか、Zn, Sr, F, S, Cl, Na, Fe, Nなどについても行なわれている⁹⁾¹⁷⁾¹⁹⁾³⁰⁾³³⁾⁻³⁶⁾³⁸⁾³⁹⁾。人の球間象牙質についてEPMAを用いて元素分析を行なった研究は見明ら²⁴⁾の報告を除いて著者は知らない。著者は若年者の歯牙で微小硬度が比較的低い球間象牙質に対してEPMAで線分析を行なったところ、この球間象牙質の周囲に接する原成象牙質から球間象牙質に入ると、Ca, P, Mg, Zn, Naなどの諸元素が徐々にまたは急激に下降曲線をえがき、以後その曲線は最低値を示すピークまたは底辺をえがき、その後、逆の曲線をえがいて次第に上昇し、周囲原成象牙質にいたって殆んど平行線となる。この曲線は丁度VまたはU字型の濃度分布パターンを示すものといえる。しかもこのVまたはU字型の底辺は実際には決して単純なものではな

く、数個の小さいピークの連続をもってえがかれている。また一方、SとCl元素は球間象牙質部において濃度分布パターンは上昇性を示し、そのピークも数個に分かれている。これらの事実は面分析による白点の濃度分布の状況やCPSによるX線強度の計測の結果からも同様に認められ、無機相構成にあずかるCa, P, Mg, Zn, Na元素の濃度下降は、この部の石灰塩沈着の低下を示唆するものと解釈される。しかしS元素の上昇は組織化学的にみた酸性粘液多糖体の強い存在を示すものと推測され、この部分が、一般の幼若象牙質と似た性状を有することが考えられる。またCl元素もS元素と同様に上昇パターンを示しているが、Clが象牙質の無機相と有機相とのいずれに結合するものかは不明であるが⁶⁾³²⁾、石灰化と何等かの関係のあることは事実である。

一方N元素は当該部での広義の有機質(蛋白、アミノ酸)の濃度分布パターンを示すものと考えるならば、この部において不規則に上昇下降のピークを示し、甚だ不安定であり、この部での有機質分布が不均一であることが推測される。かかる球間象牙質部底面内での無機質および有機質の濃度分布パターンが甚だ不安定で数個の小ピークを有することは、未石灰化と考えられる球間象牙質の底面内に、これを底面からまたは側面から隣接支持している石灰化球の一部が、その断面の方向性のいかにによって極めて薄い未石灰化層を介在させて接触して存在することが考えられる。しかもX線分析装置によって研磨面を分析する際には、部位による組織の密度差によって電子線ビームの浸透する深さが異なり、分析結果と実際値との間に差のみられることが指摘されている⁸⁾。著者は前述のように球間象牙質の断面について線または面分析を行なったが、その際図21と図22に示すように、微小硬度の小さい球間象牙質部分は、その底面内の構造が粗糙で大小の波濤状に走向する線維性構造物が多数みとめられ周固原成象牙質との境界も明確であるのに対し、硬度の高いものでは底面内は密度の高い小顆粒の集合があり、比較的平坦で周固原成象牙質とは部分的に移行型を呈し、両者間には走査電顕所見において明らかな構造上の相違がみとめられない。従ってこれらの底面内における電子線ビームの浸透性は周固原成象牙質よりはかなり高く、底面下に介在する石灰化球の外側面の一部をも同時に加えて分析している可能性もあり、その結果小ピークの多発が起ることも考えられる。このことは球間象牙質のMicroradiogramを判断する際にも同様に注意して観察しなければならない点でもある。

さて、年令増加に伴う球間象牙質の微小硬度とX線吸

収度の増大は、その部の石灰化度の向上を推測させるものであるが、X線分析による元素濃度の分布パターンの変化からも、それを確認することができた。すなわち、上述の図7～図14に示されたように、老年者の歯牙で球間象牙質の微小硬度がかなり高まったものではCa, P, Mg, Zn, Na元素の濃度分布パターンは当該部で極めてわずかに下降するかまたは殆んど平坦化して周固象牙質と同じレベルにあることが、線分析(CPS)および面分析像から認められた。一方、SおよびCl元素は、若年者の場合には上昇ピークを示したものが老年者では全く下降しほとんど平坦化した。またN元素は、この場合も不安定で濃度分布パターンは数個のピークを示している。しかしながら、特に顕著なパターンの変化は、NaとZn元素で図8、図10、11に示されるように球間象牙質の辺縁部では、周固原成象牙質よりもはるかに高い濃度ピークを示し、図8では丁度底面に相当するとみられる部分の濃度パターンが梯形の上面を示すかのように上昇している。またMg元素においても図9に示されたように、図10のZn元素と同様な両側辺縁部での上昇ピークを示している。これらのことから球間象牙質の石灰化度の上昇あるいは二次的石灰化の発現に際しては、Ca, P元素の底面辺縁部からの濃度分布増加とS, Cl元素の濃度減少とが惹起するほかに、周固原成象牙質に接する球間象牙質辺縁部に多量のMg, Zn, Na元素が増量し、その後底面全体にわたって増量することが推測される。図16(b)のMicroradiogramに現われた数個の球間象牙質の辺縁部にX線吸収度の高い線条がみられ(矢印)、この部に強度の石灰化が行なわれているのがうかがわれる。かような現象は、幼若象牙質と、これに接する象牙質部においても同様に認められ、この場合には石灰化しつつある象牙質部内にMg⁴¹⁾、Zn¹⁰⁾の増量が証明されている。従って球間象牙質の二次的石灰化は、Mg, Zn, Na元素などがCa, P元素よりも優先して球間象牙質の辺縁部から増量することによって始まる場合のあることが推測される。このことは我々が従来球間象牙質は「石灰化しないまま残された部分」であると考えていたことが確固たる事実ではなく、幼若象牙質と同様に「これから石灰化する可能性をもった部分」であると考えを改めさせるような興味ある所見と思われる。

かくして球間象牙質の二次的石灰化が進行して周固象牙質の石灰化度と接近すると、研磨標本の光学顕微鏡観察では、その透明度が増大し、それらの外形すら判別が困難となり、形態は縮小して遂には消失するものと考えられるに至る。この際のCa, Mg, P, S元素の消長につい

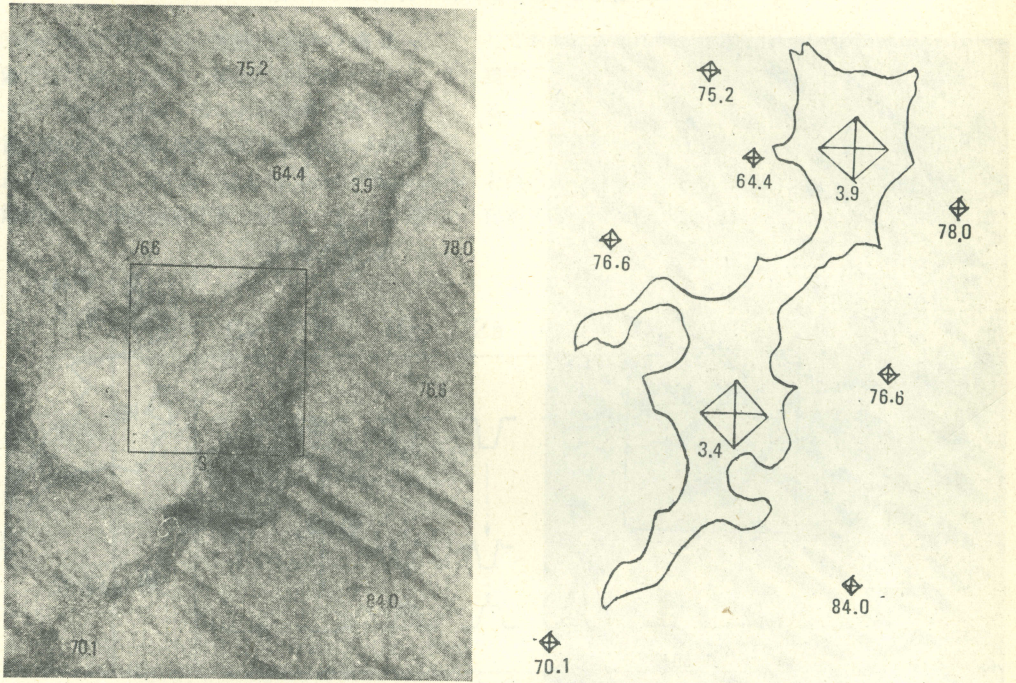


図21 球間象牙質(T-10:31才, ♀, I)の微小硬度と超微構造 ×3600

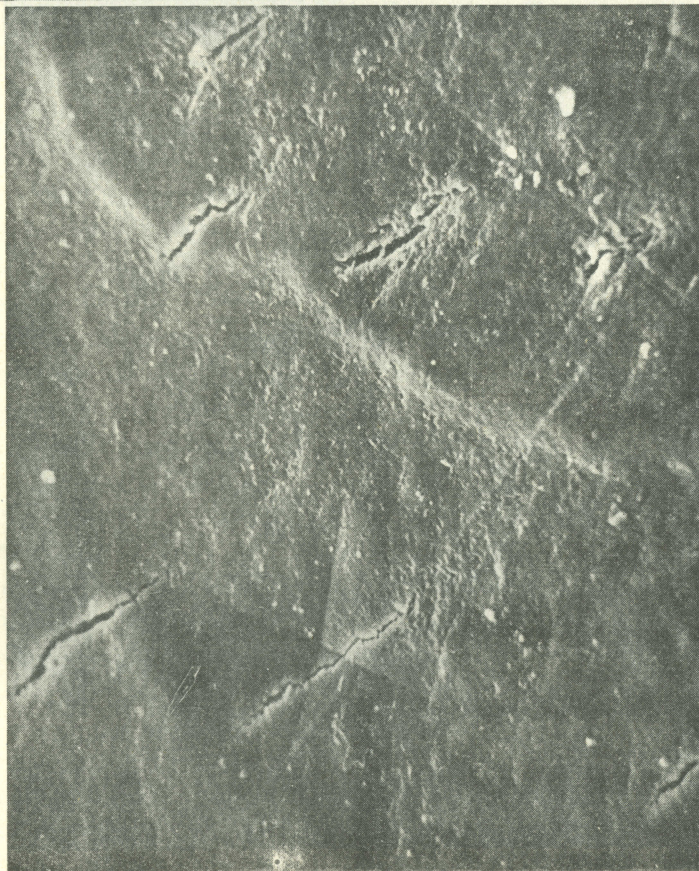
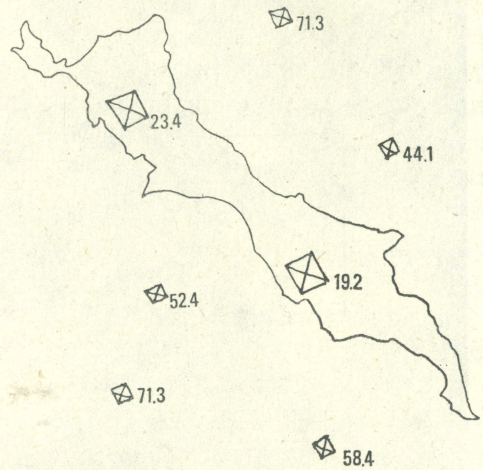
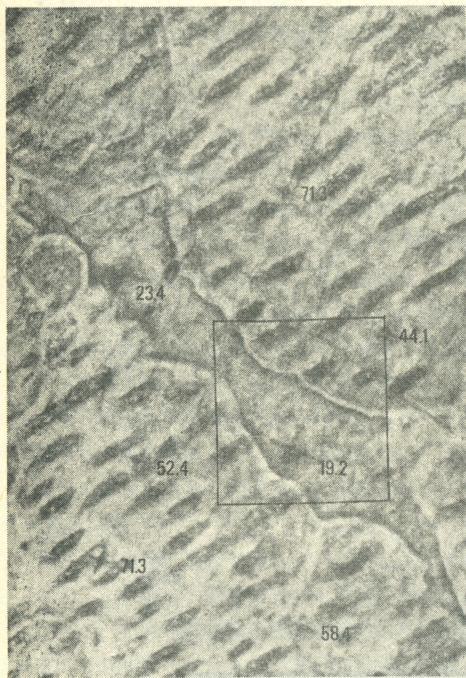


図22 球間象牙質(T-6:63才, ♀, [I])の微小硬度と超微構造 ×3600

張：球間象牙質の石灰化に関する研究

ては図17～図19に示してあるが、光線透過度の高まった透明球間象牙質(Part 3)では、輪郭が不明瞭となり、反射電子像でその形態を把握することが困難となり、周囲原成象牙質と殆んど同質の表面構造を有することが示された。それらのCa, P, S元素の線分析(Line Profile)と面分析の結果は、外周原成象牙質と同じレベルに達

しており、さらにMg元素においては図11のZnと同様に周囲原成象牙質のレベルをはるかに超える像を呈している。

以上の結果から、球間象牙質石灰化度の年令的增加と各種元素の当該部における濃度分布パターンの変化とを総括すると図23のように表わすことができよう。

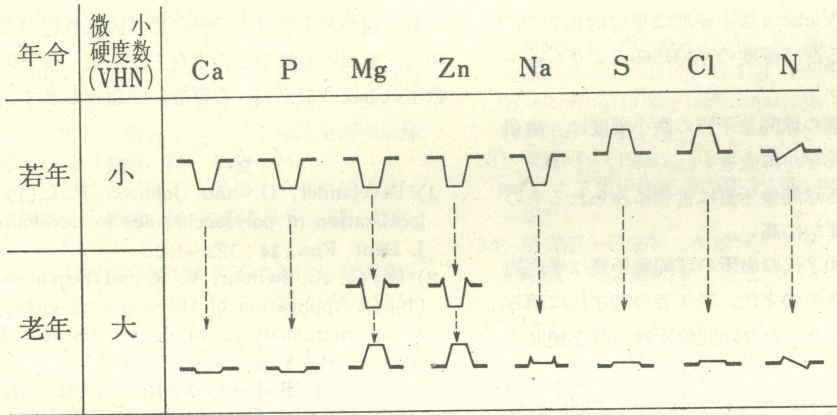


図23 微小部X線分析法(E.PMA)による球間象牙質の元素濃度分布の変動

象牙質形成については、従来からの解釈によると、基質形成開始後しばらくの間は石灰化が行なわれず、その後石灰化が一度開始されると、極めて短期間で最終的石灰化度にまで到達するといわれているが、この間、石灰球相互の癒合不全のために数個の石灰球に取囲まれて未石灰化のまま萌出後まで球間象牙質として残される微小部分は、いかなる機序でそうなるのか明らかにされていない。しかし、それらが増令的に次第に石灰化度を増大して行く事実は上述の通りで、これを幼若象牙質が石灰化して行く過程と全く同様に考えてよいのか否かは不明であるが、組織化学的な観察や微小部X線分析の結果から球間象牙質内へのCa(その他P, Mg, Na)沈着の増加がみられるのに反してS元素減少がみられる。この事実は当該部基質における酸性多糖体またはSS, SH結合のS元素が実質的に脱却されたものか、あるいは、それらが蛋白質や無機塩(Ca, 他)との結合によるマスキングされたために非染色性または非検出性となったのではないかと考えられるが、今回著者の行なった実験からだけではこの点を明らかにすることはできなかった。いずれ後日検討を加えたい。

球間象牙質が二次的石灰化をきたすと光学顕微鏡的には輪郭の不明瞭化、形態の縮小などが観察され、遂には殆んど全く消失することが示され、増令的球間象牙質の

発現程度の変動を検討しなければならなくなったのであるが、両者の関係を具体的に量的変化として示した報告は未だみられなかった。そこで著者はこの点を明らかにせんとして第4実験を行ない、前述の表6～7に示すような成績をえた。すなわち歯冠象牙質に発現分布する多数の球間象牙質の面積測定を行ない、それらの合計面積値について唇側と舌側とを比較したところ、総平均において前者は $412 \times 10^{-6} \text{cm}^2$ 、後者は $693 \times 10^{-6} \text{cm}^2$ となり、舌側象牙質部での球間象牙質の発現は唇側のその約1.8倍の面積を有することがわかった。その発達程度の年令的変動については、各年代の平均値を算出することによって求められ、その結果、発現程度の年令的差が舌側部において甚だ顕著であることが明らかにされた。すなわち、若年者である10才代では舌側象牙質面積に対し2.897%の比率で球間象牙質は発現するが、老年者の70才代では若年者の約1/4の値である0.774%に減少した。このことは球間象牙質が増令的に石灰化度が上昇するということを直接示唆するものではないが、その部の微小硬度、X線吸収度、無機相構成に関連の強い元素であるCa, P, Mg, Zn, Na, Clなどの濃度分布が増令的に著しく増大することなどと考え合せることによって、球間象牙質の石灰化の推移を生物学的な石灰化機構の立場から考察する上において役に立つ事実と考えられる。

V 結 論

原成象牙質よりも石灰化状態が幼若であるといわれる球間象牙質(球間区)につき、それらの石灰化程度がどの程度であり、また増令的にそれが変動するものかにつき、人の下顎中切歯を用いて、Vickers微小硬度測定法、微小部X線分析法、顕微X線法を応用して検索を行なったところ、次のような結果を得た。

1) ① 球間象牙質のVickers微小硬度は平均約8.7で、周囲原成象牙質のとり微小硬度の平均約60.1よりも遙かに小さい。

② 歯冠中央付近部の球間象牙質の微小硬度は、歯頸付近部のものよりもわずかに大きい。

③ 唇側に発現する球間象牙質は舌側にみられるものよりも微小硬度がわずかに高い。

④ 若年者である10才代の歯牙の球間象牙質は平均約6.0であるが、中年者の40才代、老年者の70才代に至ると、それぞれ6.9、16.0となり球間象牙質の微小硬度は増令的に増大する。

2) ① 若年者の球間象牙質の多くのものは、周囲原成象牙質よりもX線透過度が甚だ高く、両者の境界は明瞭であり、内部的には不均一な透過性を示す。

② 老年者のものでは形態の縮小とX線透過度の減少をきたし、周囲原成象牙質との境界も不明瞭となる。

3) ① 若年者の歯牙で微小硬度が小さくX線透過度の高い球間象牙質の構成元素Ca, P, Mg, Zn, Naは周囲原成象牙質でのそれらより濃度分布が甚だ低いが、S, Cl元素は逆に甚だ高濃度に分布する。N元素は内部で不安定な濃度分布を示す。

② 老年者の球間象牙質でその透明度および微小硬度が大でX線透過度が低いものは、Ca, P, Mg, Zn, Na元素の濃度分布は増大し、S, Cl元素は減少して、ともに周囲原成象牙質の濃度レベルに接近する。

③ これらの歯牙の球間象牙質で、その辺縁および内部に周囲原成象牙質の濃度レベルを著しく越えてMg, Zn, Na元素が多量に分布するものがある。

4) ① 歯冠象牙質に出現する球間象牙質が歯冠象牙質に対して占める面積比(%)は、舌側の方が約平均0.556%で唇側の平均0.311%より大である。

② これらの面積比(%)は、若年者より老年者にむかって次第に減少し、球間象牙質が増令的に漸次縮小し、遂には消失するものであることが示唆される。

5) 微小硬度が小さい球間象牙質の表面の超微構造は、微小線維、顆粒状物の集合からなる粗造面を形成して周囲原成象牙質と明瞭な境界を示すのに対して、微小硬度

の大きいものでは、その表面は原成象牙質に類似した比較的平坦な面となり、周囲との境界も移行的である。

稿を終るに臨み、今回東京歯科大学組織学教室に留学の機会を与えられ、本研究の完成をみましたことは、東京歯科大学関根永滋学長、松名誠一副学長、松井隆弘主任教授の終始かわらぬご激励、ご鞭撻によるものと深甚なる感謝の意を捧げると共に松井隆弘教授のご校閲、見明清教授の直接のご指導ならびに東昇平助教教授はか教室員各位のご協力、ご鞭撻に深謝致します。

文 献

- 1) Bevelander, G. and Johnson, P. L.(1955): The localization of polysaccharides in developing teeth, J. Dent. Res., **34**: 123~131.
- 2) Boyde, A., Switsur, V. R. and Fearnhead, R. W. (1961): Application of the scanning electron-probe X-ray microanalyser to dental tissues, J. Ultrastruct. Res., **5**: 201~207.
- 3) Boyde, A., Switsur, V. R. and Stewart, A. D. G. (1963): An assessment of two new physical methods applied to the study of dental tissues, Advances in Fluorine Research and Dental Caries Prevention, 185~193, Pergamon Press, Oxford.
- 4) Dickmann, E.(1925): Ein Beitrage zur Kenntnis von den sogenannten "Interglobularräumen" im menschlichen und tierischen Zahn, D. Mschr. Zshk., **43**: 653~672.
- 5) 枝重夫(1969): 象牙質形成に関する組織化学ならびに microradiography による研究、一管周基質の形成を中心にして一、硬組織研究, 177~208, 医歯薬出版, 東京.
- 6) Ericsson, Y.(1962): Effec of chloride ions on the fluoride uptake by dental enamel, Acta odont. Scand., **20**: 379~392.
- 7) Erva F.(1934): Untersuchung über das sogenannte Interglobulardentin und die Tomes'sche Körnerschicht, Ann. Acad. Sc., Fennicae, Ser., A., **40**.
- 8) Frank, R. M., Capitant, M. and Goni, J.(1966): Electron probe studies of human enamel, J. dent. Res., **45**: 672~682.
- 9) Frazier, P. D.(1967): Electron probe analysis of human teeth, Ca/P ratios in incipient carious lesions, Archs. oral Biol., **12**: 25~33.
- 10) Friore-Donno, G. and Baume, L. J.(1966): Etude histochemique de la dentinogenese humaine, Helv. Odont. Acta, **10**: 141~185.
- 11) 藤田恒太郎(1938): 象牙質の球間区は何故発生するか?, 口腔病学会雑誌, **12**: 361.
- 12) 藤田恒太郎(1960): 歯の組織学, 55~59, 医歯薬出版, 東京.

- 13) 林 俊郎(1969)：硬組織内石灰塩の組織化学の染色効果に関する研究，歯学，56：661～689.
- 14) Isokawa S., Kosakai, T. and Kajiya, S.(1963)：Interglobular dentin in the deciduous tooth, J. dent. Res., 42：831～834.
- 15) Isokawa Sohiti, Satomura Ichiro et al.(1966)：Some historadiographs of human dentin structures, J. Nihon U. Sch. of D., 8：191～197.
- 16) 片桐正隆(1968)：人の第二象牙質の石灰化像について，歯学，56：9～39.
- 17) 加藤慎一(1969)：生犬の歯の人工軟化象牙質の再石灰化について，日立科学器機情報，12：727～728.
- 18) 片山武夫(1928)：人類歯牙における球間空洞の組織学的知見補遺，齒科新報，21：495～504.
- 19) 川西 弘，庄内芳春(1963)：X線マイクロアナライザーの医学領域への応用，医学のあゆみ，63：154～159.
- 20) 栗岡博良，西村育代(1965)：乳歯における球間象牙質の発現状況について，歯科医学，28，(6)：557～563.
- 21) Leblond, C. P., Belanger, L. F. and Greulich, R. C.(1955)：Formation of bones and teeth as visualized by radioautography, Ann. New York Acad. Sci., 60：630～659.
- 22) Meyer, W.(1951)：Lehrbuch der normalen Histologie und Entwicklungsgeschichte der Zähne des Menschen, 55～56, Carl Hanser Verlag, München.
- 23) 松井隆弘(1966)：新編口腔組織学，歯牙編，44～45，永末書店，京都.
- 24) 見明 清，東 昇平，他(1966)：人の歯牙硬組織の微小硬度に関する研究(第1報) 永久前歯珐瑯質および象牙質の微小硬度について，歯科学報，66：1103～1122.
- 24') 見明 清，東 昇平，他(1971)：球間象牙質の微小硬度に関する研究，歯科基礎医学会雑誌，13：319.
- 25) 見明 清，東 昇平，他(1971)：ヒト歯牙の球間象牙質の発現分布，歯科学報，71：22.
- 26) 中島隆丸(1939)：人類歯牙の象牙質における球間区の発達程度並にその年令の差異に就いて，口腔病学会雑誌，13：175～182.
- 27) 二瓶一郎(1959)：人歯牙硬度に関する研究，I. 健全歯牙縦断面の硬度について，大阪大学歯学雑誌，4：1～20.
- 28) 西村典三，林 勇，他(1959)：乳歯象牙質における球間区の発現程度について，歯科医学，22：257.
- 29) 西山幸男(1929)：朝鮮人歯牙に於ける球間腔洞の発現に就いて，南満州歯科医学会誌，3：9～16.
- 30) Rosser, H., Boyde, A. and Stewart, A. D. G.(1967)：Preliminary observations of the calcium concentration in developing enamel assessed by scanning electron-probe X-ray emission microanalysis, Archs. oral Biol., 12：431～440.
- 31) Sicher, H. (1966)：Orban's Oral histology and embryology, Sixth ed., The C.V. Mosby company, Saint Louis, 107～108.
- 32) Söremark, R. and Grön, P.(1966)：Chloride distribution in human dental enamel as determined by electron probe microanalysis, Archs. oral Biol., 11：861～866.
- 33) 須賀昭一(1966)：Electron microprobe X線Analyserによる歯牙硬組織の研究(第1報)，歯学，54：282～283.
- 34) 須賀昭一(1967)：X線マイクロアナライザによる生物組織，特に硬組織の研究について，歯学，55：217～223.
- 35) 須賀昭一，副島啓義，他(1967)：Electron microprobe X線 Analyser による 歯牙硬組織の研究(第2報)，歯学，55：70.
- 36) 須賀昭一(1969)：歯牙硬組織形成の組織化学，硬組織研究，57～87医歯薬出版，東京.
- 37) 須賀昭一(1969)：エナメル質の石灰化，—micro-radiography, 組織化学，ならびに tetracycline labelling による研究一，硬組織研究，88～151，医歯薬出版，東京.
- 38) 須賀昭一，近藤稔，他(1971)：各種動物エナメル質内でのCl, Mg, Naの分布のX線マイクロアナライザーによる観察，歯科基礎医学会雑誌，13：85～94.
- 39) 須賀昭一(1971)：EPMAの歯学への応用，X線マイクロアナライザーの生物・医・歯学分野への応用ゼミナールテキスト，11～19.
- 40) 春原 肇(1969)：ヒトの象牙質蝕蝕に関する顕微X線法による研究，歯科学報，69：999～1034.
- 41) 田熊庄三郎，倉橋和啓，枝 重夫(1964)：ヒトの象牙質形成に関する組織化学，マイクロラジオグラフおよび電子顕微鏡による研究，日本病理学会誌，53：270.
- 42) Takuma, S., Katagiri, S. and Ozasa, S.(1966)：Electron-probe microanalysis of horse dentin, J. Electron Microscopy, 15：86～89.
- 43) 山崎長夫(1959)：歯根透明象牙質の組織学的並びに物理学的研究，口腔病学会雑誌，26：216～232.

Summary

It is generally recognized that interglobular dentin among dentin calcoglobules are hypomineralized spaces and that their calcification gradients are lower than those of adjacent primary dentin. The present study on calcification gradients of interglobular dentin and age-related changes in their calcification gradients have been carried out by means of these methods: Vicker's microhardness test, microradiography, and electron microprobe analysis. These techniques were performed on sufficiently polished surfaces of longitudinally-ground sections or on central longitudinal sections of sound human teeth (mandibular central incisors). The results obtained are as follows.

1) a : Values of Vicker's microhardness (Hv) for interglobular dentin (average Hv=8.7) are much lower than those for adjacent mineralized primary dentin (average Hv=60.1).

b : Interglobular dentin in the center of the labial or lingual side of the teeth crowns have slightly higher Hv's than interglobular dentin of the cervical dentin.

c : The average Hv of interglobular dentin in labial dentin is somewhat higher than that in lingual dentin.

d : The average Hv of interglobular dentin of young teeth (between the ages of ten and nineteen) is approximately 6.0; that middle-age teeth is 6.9; and at advanced ages, the Hv of interglobular dentin averages 16.0. Therefore, it may be presumed that the Hv of interglobular dentin increases with age.

2) a : X-ray absorption in interglobular dentin of young teeth is not homogeneous. Its gradient is considerably lower than that in adjacent primary dentin. Therefore, there is an obvious border space between interglobular and primary dentin.

b : In interglobular dentin of old teeth form, size, and gradient of X-ray absorption alter, and the borderline between it and primary dentin becomes indistinct.

3) a : In young teeth, interglobular dentin whose Hv is comparatively small and whose X-ray absorption gradient is low, shows much smaller concentrations of such elements as Ca, P, Mg, Zn, and Na are than exist in adjacent primary dentin. On the other hand, concentrations S and Cl in interglobular dentin are excessively high, though the element N shows an unstable distribution.

b : In old teeth, interglobular dentin whose Hv and transparency gradient are great, and whose X-ray absorption gradient is high, show increased concentrations of Ca, P, Mg, Zn and Na, whereas both of S and Cl elements decrease distinctly. Therefore, concentrations of all these elements in interglobular dentin approach the level they maintain in the primary dentin.

4) a : The average percentage of space occupied by interglobular dentin to full space of crown dentin is approximately 0.556 in the lingual portion and 0.311 in the labial portion.

b : As stated above, these percentages of interglobular dentins gradually decrease with advancing ages. Probably interglobular dentin reduces in volume little by little, and completely disappears in the long run.

5) The ultramicrostructure of the surface of interglobular dentin whose Hv is relatively small, seems to be a rough. It is apparently composed of microfibrils and microgranules. The surface of interglobular dentin with comparatively large Hv is similar to the structure of primary dentin. It has smooth areas: therefore, the border area between it and primary dentin is vague.