原	著
---	---

無細胞セメント質に見られる成長線の構造に関する観察

李 衍 江

東京医科歯科大学歯学部第一口腔解剖学教室（指導：山下靖雄教授）

（1996年6月28日 受付）

Observations of the Structure of Incremental Lines in Acellular Cementum

Yan-Jiang Li

First Department of Oral Anatomy, School of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University
(Director : Prof. Yasuo Yamashita)

The purpose of this study was to investigate the function of human cementum from a morphological viewpoint. To accomplish this purpose, the incremental lines in human acellular cementum were studied by light microscopy, microradiogram (CMR), scanning electron microscopy, and transmission electron microscopy, and the results were as follows :

1. In acellular cementum, many fine incremental lines of about $0.5\mu\text{m}$ width were observed.
2. The fine incremental lines were observed running perpendicularly or obliquely to Sharpey's fibers in the acellular cementum.
3. The fine incremental lines observed in acellular cementum were not straight lines but had wave-like structure.
4. Each wave observed in the fine incremental lines corresponded to a bundle of Sharpey's fibers.
5. The fine incremental lines observed on Sharpey's fibers in acellular cementum showed specific characteristic features.
6. Despite the fine incremental lines showing a close relationship to the degree of calcification, they also seemed to show a strong relationship to the quality of the organic component of the acellular cementum.
7. Apart from the fine incremental lines which are specific to acellular cementum, incremental lines similar to those observed in cellular cementum were also observed within the acellular cementum. These incremental lines were wider and their degree of calcification was higher.

I. 緒 言

歯根の表面を覆っているセメント質は、エナメル質や象牙質とともに歯を構成する硬組織の一つである。また、セメント質は歯を歯槽骨（顎骨）に固定するためのシャーピー線維を埋め込んでお

り、歯根膜、歯槽骨ならびに歯肉とともに歯牙支持装置（歯周組織）としての役割の一端を担っている¹⁻⁵⁾。このセメント質は、萌出後も咬合状態の微妙な変化や種々の刺激に反応し、形成、ときには吸収を繰り返すことが知られている³⁻¹¹⁾。もともと、セメント質はその所在部位によってかなり

形態や構造に差が見られるうえに、このように咬合圧の変化や周囲組織からもたらされるさまざまな刺激によって、二次的な構造変化が生ずることが多いため、歯牙支持装置として重要な機能を持った組織であるにもかかわらず、いまだにその本態に関しては不明な点が多いのが現状である。しかし、近年、高齢化社会を迎え、歯牙の機能的な延命を図ることがますます重要となってきたことから、セメント質を含む歯周組織の機能を形態学的に究明し、歯周疾患の予防と治療を推進するための基礎的知見を得ることが急務であると思われる。

従来からセメント質は、無細胞セメント質^{1,6,7,10,12,13}（原生セメント質^{7,10,12,14,15}）と、（細胞セメント質^{1,6,7,12,13}）（第二セメント質^{1,4,7,10,12,15}）などに便宜的に区別されている。著者は「解剖学用語」¹⁶に従って、ここでは無細胞セメント質（Cementum noncellulare）と、細胞セメント質（Cementum cellulare）という用語を使用することにする。セメント質はシャーピー線維を多く含むことから、Weidenreich¹⁷の骨の分類によると、線維骨の仲間に入ると考えられている。セメント質のシャーピー線維は、主として歯根膜の線維芽細胞によって産生される extrinsic fiber（外部性線維、非固有性線維）^{3,6,13,18,19}であり、セメント芽細胞によって産生されて、intrinsic fiber（固有性線維）^{3,6,13,18,19}に相当する基質線維と異なるといわれており、細胞の有無のほか、この両者の線維の量的な関係がセメント質の構造と性格を規定していると考えられている。細胞セメント質はシャーピー線維が少なく、その反面、基質線維がよく発達し、骨層板と同様な層板構造²⁰を形成している部位も見られるとともに、細胞（セメント細胞）が埋入されている状態が見られることなどから、骨組織（線維骨組織）に類似しているといえる⁴。この細胞セメント質（第二セメント質）の基質線維の構造に関しては、すでに本教室の陳²¹らの詳細な報告が見られる。前述したように、無細胞セメント質は、シャーピー線維が特に多く存在^{1,2,4,6,20}し、その反面、基質線維が少ない特徴があ

り、形成速度も遅いと考えられており、硬組織のなかでもかなり特殊化した組織であるといえる²。しかし、無細胞セメント質は、細胞セメント質に比べて全般的に薄く^{1,2,4}、また、比較解剖学的見地から見ると、無細胞セメント質は運動性の少ない歯に見られるという意見⁴もあるが、ヒトでは、歯頸部付近に位置していることから、歯根が露出するとただちに口腔内環境にさらされ、さまざまな刺激の侵襲を受ける部位でもあるとともに、歯頸部は咬合圧が歯に加わった場合に、その部は根のなかでも比較的動揺範囲の大きい⁴部分でもあると考えられ、歯を固定する機能は甚大であるといえる。また、この無細胞セメント質の領域にも、多数の成長線様の構造物が認められ、硬組織に見られるこのような成長線は、その部の形成速度や構造の周期的な変化の状態を知ることができる。また、歯においては、この成長線がう蝕の進行とも関連性のあることが多くの研究^{11,12,21-30}で認められている。そのようなことから、無細胞セメント質の成長線の構造と性格を知ることによって、セメント質の機能を形態学的に究明する糸口を得るとともに、う蝕の予防などに関する基礎的資料を得ることができるものと考え、本論文では無細胞セメント質に見られる成長線の構造的特徴を光学ならびに電子顕微鏡を用いて検討を行った。

II. 材料と方法

1. 材料

ヒトの健全な切歯（30本）、小臼歯（10本）ならびに大臼歯（10本）を材料として用いた。

2. 方法

1) 光学顕微鏡による観察

(1) 研磨標本

抜去歯を10%中性ホルマリンで固定した。これらの標本について厚さ約50 μ mの縦断研磨標本作製した。これらの研磨標本について無染色（無染色研磨標本）のまま観察し、一部の標本については0.1規定の塩酸にて、15～30秒間酸腐蝕を行って、ヘマトキシリン染色前（酸腐蝕研磨標本）

と染色後（ヘマトキシリン染色研磨標本）に観察を行った。また、一部の研磨標本については、それが完全に脱灰されるまで酸で脱灰を行い、その同一標本についてヘマトキシリン・エオジン染色前（無染色脱灰研磨標本）と染色後（ヘマトキシリン・エオジン染色脱灰研磨標本）に観察を行って比較した。さらに、一部の研磨標本については、microradiogram (CMR) で観察した。用いた装置は Sofron SRO-M 50 で、撮影条件は管電圧 12 KV、管電流 4 mA で露出時間は 50 分間である。撮影された CMR 像を光学顕微鏡で観察した。

(2) 脱灰切片

抜去歯を 10% 中性ホルマリンで固定後、5% のギ酸にて脱灰を行った後、通法に従ってパラフィン包埋を行い、縦断ならびに横断切片を作製した。これらの切片にヘマトキシリン・エオジン染色、アザン染色、ならびに PAP 鍍銀染色 (変法) を施して観察を行った。また、一部のアザン染色切片については脱色後、再び同一切片にヘマトキシリン・エオジン染色を施して染色性を比較した。

2) 走査電子顕微鏡による観察

抜去歯を 10% 中性ホルマリンで固定後、縦断研磨面を作製し、一部の標本については、0.1 規定塩酸にて 60~90 秒間酸腐蝕を行い、また一部の標本については、5% の次亜塩素酸ナトリウムを研磨面に作用させ脱有機処理を施した。これらの標本について通法に従って脱水、臨界点乾燥を行い、さらにカーボンと金の二重蒸着を施して走査電子顕微鏡で観察した。

3) 透過電子顕微鏡による観察

抜歯後、ただちに 2% glutaraldehyde (pH 7.4 sodium cacodylate buffer, 4℃) で 2 時間前固定を行った。さらに 2% OsO₄ (pH 7.4, sodium cacodylate buffer, 4℃) にて 4 時間後固定を行った。その後、通法に従って脱水し、エポキシ樹脂に包埋を行い、未脱灰超薄切片を作製した。それらの超薄切片を未染色のまま、あるいは切片上で酢酸ウラニルとクエン酸鉛の二重電子染色を行って透過電子顕微鏡で観察した。

III. 所 見

1. 光学顕微鏡所見

1) 研磨標本

無染色研磨標本で観察を行うと、無細胞セメント質（原生セメント質）には、明調な線条の構造物（ライン）と暗調な線条の構造物（ライン）が交互に配列し、それらが基本的にはセメント質表面、ならびにセメント・象牙境に対してほぼ平行に配列しているのが認められる（図 10）。これらの構造物は一種のセメント質の成長線であると思われることから、以後、これらの構造物を成長線と呼ぶことにする。暗調なラインも明調なラインもほぼ均一な幅と間隔を呈しているが、場所によって多少幅や間隔に差が見られる場合もある。また、それらのラインがともに明瞭に出現している部位もあれば、やや不明瞭な部位も見られる。

無染色研磨標本に酸をわずかに作用させた標本（酸腐蝕研磨標本）で観察を行うと、セメント質の表面に対して直角方向ないしはやや斜め方向に配列しているシャーピー線維の束の輪郭を認めることができる（図 11）。明・暗のラインを拡大して観察すると、それらは必ずしも直線的ではなく、細かい波状の形態をしている。個々の波状の湾曲はシャーピー線維の束と一致して、それぞれの束の境界部で屈曲している状態が見られる（図 11）。また、シャーピー線維の束が均一で、しかも配列方向が一定している部位では、これらの微細な成長線も明瞭となっているのに対して、シャーピー線維の束やその輪郭が不明瞭で配列が乱れている部位では、成長線も全般的に不明瞭となっている（図 11）。さらに、酸腐蝕研磨標本にヘマトキシリン染色（図 1）を施して観察を行うと、無染色の場合と同様に線条の構造物からなる成長線が認められるが、これらの成長線は特異的にヘマトキシリンに染色されるような状態はほとんど認められない。しかし、2~3 本程度の明瞭な線状構造物が観察される場合には、それらのラインはヘマトキシリンに染色されている。

完全に脱灰されるまで研磨標本に酸を作用させ

てから観察を行うと、無処置あるいはわずかに酸を作用させた研磨標本の場合と異なって、明・暗の線条構造からなる微細な成長線は、やや不明瞭となっている(図 12-A)。しかし、コントラストを上げて観察を行うと、成長線ならびにシャープ線維の走行が確認できる。さらに、この脱灰研磨標本を観察後、その同一標本にヘマトキシリン染色を施して観察を行うと、成長線はヘマトキシリンに染色されるラインと染色されないラインとが交互に配列した状態で認められる(図 12-B)。さらに、無染色のままで撮影した写真と染色後撮影した写真について同一部位を写真上で重ね合わせて、それぞれの成長線に対応させてみると、無染色標本で暗調に見えるラインは、染色標本では、ヘマトキシリンに染色されるラインとほぼ一致することが確かめられた(図 12)。同様に無染色標本で明調に見えるラインは、染色標本では、ヘマトキシリンにほとんど染色されないラインとほぼ一致することも確認された。

研磨標本の CMR 像(図 14)で観察を行うと、通常のセメント質の領域と比較して、X線の透過度がやや低いラインと、透過度が高いラインが見られ、それらが不明瞭ながらセメント質の表面にほぼ平行に配列している状態が認められる。いずれにしても、これらのラインの数は全般的に少なく、幅も広い。このうち、X線透過度の低いラインは、2~3本程度観察され、透過度の高いラインに比べて一般に明瞭な場合が多い。

2) 脱灰切片

(1) 無染色切片

脱灰パラフィン切片をキシロールにて脱パラフィンを行った後、カバーガラスのみで仮封入して観察すると、通常の研磨標本の場合と同様に明・暗の線条構造からなる多数の微細な成長線が観察される(図 13-A)。脱灰パラフィン切片の場合には、完全に脱灰を行った研磨標本の場合よりも成長線が明瞭に観察されるときともに、より細かい成長線まで認めることができる。また、シャープ線維の輪郭も比較的明瞭に認められる。

(2) ヘマトキシリン・エオジン染色切片

脱灰切片にヘマトキシリン・エオジン染色を施して観察を行うと、無細胞セメント質は全般的にヘマトキシリンに対する染色性がエオジンに対する染色性よりも高い傾向が見られる(図 2, 3, 15)。無細胞セメント質にはヘマトキシリンに濃く染色される暗調なラインと、ヘマトキシリンに染色されず、エオジンに淡染する明調なラインからなる微細な成長線様の構造物が明瞭に観察される。この成長線の幅は、平均 $0.5\mu\text{m}$ 程度となっている。しかし、ヘマトキシリンに濃く染色されるラインはきわめて幅の狭いものから、かなり幅の広いものまでさまざまである。これらのヘマトキシリンに染色されるラインの間に位置する明調なラインの幅にも差が見られる。また、場所によって両者のラインの幅がほぼ同程度で、それらのラインが数本の単位でまとまって走行している場合も見られる(図 2, 3, 15)。一般に幅の狭いラインほど均一な幅であるが、ラインの幅が全般的に広いものは、それらの幅もかなりばらつきが見られる。また、ヘマトキシリンに染色されるラインのうちでも、特に濃く染色される暗調で幅の広いラインが1~3本程度観察される場合もある(図 2, 5)。なお、標本によってはこのラインに沿って亀裂が生じている場合もある(図 5)。脱灰切片にヘマトキシリン・エオジン染色を施した切片では、それぞれのシャープ線維の辺縁部付近がヘマトキシリンに染色される傾向が見られる(図 2, 3)。これらの切片においても、研磨標本の場合と同様に明調なラインも、暗調なラインもシャープ線維の単位で波状の湾曲を呈しており、その凸面はセメント質の表面側を向いていることが多い。セメント質の最表層の領域を拡大して観察すると、ヘマトキシリンに染色されている石灰化前線と思われる部分が、同様に個々のシャープ線維の単位で波状の湾曲を呈している状態が認められる(図 4)。その際、最表層が一層ヘマトキシリンに濃染するライン(暗調なライン)となっている場合と、最表層がそれよりヘマトキシリンに対する染色性が低く、エオジンに淡染する明調なラ

インを構成している場合とが見られる。そのうち、特に明調なラインに注目してみると、個々のシャーピー線維に見られるこの明調なラインの輪郭は、石灰化前線の形態と一致する状態が見られる(図4)。また、これらのライン状の構造物の配列状態は、前述した無細胞セメント質の領域の全般にわたって見られる、いわゆる明調なラインと暗調なラインとからなる、微細な成長線様の構造物とほぼ一致している。

脱灰パラフィン切片を無染色のまま観察を行った切片と同一切片にヘマトキシリン・エオジン染色を施して、無染色と染色後に出現する成長線をそれぞれ比較してみると、無染色切片で暗調となっているラインは、ヘマトキシリン・エオジン染色では、ヘマトキシリンに染色されるラインと一致し、また、無染色切片で明調となっているラインは、ヘマトキシリン・エオジン染色を行った場合には、ヘマトキシリンにほとんど染色されない明調なラインとほぼ一致することが確認された(図13-A, B)。

(3) アザン染色

脱灰切片にアザン染色を施して観察を行うと、アニリン青あるいはアゾカルミンに染色されるライン(暗調ライン)と、それらの色素にあまり染色されない明調なラインからなる多数の微細な成長線様の構造物が観察される(図6, 7)。これらの両ラインともに同一ラインにおいては、その全長にわたって、幅がほぼ一定しているが、場所によってそれらのラインの幅ならびに間隔が多少異なっている場合もある。アザン染色切片を観察後脱色を行い、その同一切片に、ヘマトキシリン・エオジン染色を施して、アザン染色とヘマトキシリン・エオジン染色による染色性を比較してみると、ヘマトキシリンに染色されるラインは、アゾカルミンあるいはアニリン青に染色される暗調なラインと一致することが確かめられた(図9)。また、ヘマトキシリン・エオジン染色切片における明調なラインは、アザン染色切片における明調なラインと一致し、このラインはヘマトキシリン・エオジン染色ならびに、アザン染色においてい

れも色素にあまり染色されないことが確認された。しかし、セメント・象牙境や成長線の間隔が広く、シャーピー線維の基質のみが存在していると思われるような部分、ならびに、特にヘマトキシリンに濃染し、やや幅の広い暗調なライン(1~3本程度)は、通常の成長線とは逆に、アザン染色切片では明調な部分、ないしは明調なラインとなっているのが認められる(図9)。また、アザン染色切片(図6)で1~3本程度見られる染色性の低い明瞭なラインは、そのラインに沿って亀裂が生じていることが多い。また、脱灰アザン染色切片では、シャーピー線維の束がアニリン青に染色される部分とアゾカルミンに染色される部分とが認められる(図7, 8)。しかし、場所によってはシャーピー線維がアニリン青に全般的に淡染している部分も見られる。これらの染色性はシャーピー線維ごとに違う場合もあれば、同一のシャーピー線維においても、部分的に染色性の違いが見られることもある。アニリン青に淡染するシャーピー線維が多く見られる領域では、全般的にシャーピー線維自体も細く、また、その配列も乱れている場合が多い(図7)。そのような部位においては、微細な成長線様の構造物も不明瞭となっている傾向が見られる。

アザン染色を施した切片で、特に無細胞セメント質の表層部を観察すると、全般的にこの部は深層部の領域に比べて、アゾカルミンにやや濃く染色される傾向が見られる(図8)。シャーピー線維と歯根膜線維との移行部、すなわち石灰化前線に相当する部分では、シャーピー線維がアゾカルミンに染色されているのに対して、未石灰化のコラーゲン線維からなる歯根膜の主線維は、アニリン青によって青く染色されている(図8)。アゾカルミンに染色されている石灰化前線の部分は、シャーピー線維の単位ごとに歯根膜側に向かって凸湾した形態を呈していることが多い。このように全般的にアゾカルミンに染まっている表層部の領域をさらに拡大して観察を行うと、最先端のみが一層アゾカルミンに濃く染色される層が見られ、それが隣接のものと連続してライン状をなし

ている状態も見られる。しかし、場所によっては、そのアゾカルミンに濃染しているラインの層が最表面からわずかに離れて、その表面にはむしろそれより染色性が低くなっている層も見られ、それがその部位のシャーピー線維の染色性と同程度か、あるいはそれよりやや低い染色性を示している場合もある。また、このような層も連続してライン状の形態を呈している状態も見られる(図 8)。アゾカルミンに対する染色性が、表層部から順次深層側に向かって全般的に低下するのに伴って、アゾカルミンに濃く染まるラインも、淡染するラインも順次染色性が低くなり、特に後者のラインは、色素にあまり染まらない明調なラインに移行するような傾向も見られる。

(4) PAP 鍍銀染色

脱灰切片に PAP 鍍銀染色を施して観察を行うと、銀によって黒染された線状の構造物(ライン)と、銀にほとんど染色されない明調な線条の構造物が多数観察される(図 16~18)。また、この染色切片では、シャーピー線維が銀にやや濃く染色されている。しかし、個々のシャーピー線維のうちでも辺縁部は銀に染色されることなく、比較的明調な状態となっていることが多い。前述した好銀性の線条構造物は、シャーピー線維よりさらに銀に濃く染色される明瞭なラインも見られるが、シャーピー線維の染色性とほぼ同程度の染色性を示しているものも見られる。前者のラインは一般に幅も一定しているが、後者のラインは幅があまり一定することなく、きわめて細いものから、極端に幅が広いものまで見られる。また、銀にほとんど染まらない明調なラインも見られるが、その明調なラインは、時としてきわめて幅が広く、しかも、明瞭なものが 2~3 本程度見られる場合がある(図 18)。このようなラインの前後では、シャーピー線維の配列方向が変化している場合も見られる。なお、通常の暗調なラインも明調なラインも研磨標本や他の染色法を施した脱灰切片の場合と同様に、細かい波状の湾曲が見られ、それらが個々のシャーピー線維の単位で生じており、その湾曲の凸部はセメント質の表層側を向いてい

ることが多い(図 16, 17)。また、歯根膜線維はセメント質のシャーピー線維の染色性同様、やや濃く染まっている(図 16, 17)。

2. 電子顕微鏡所見

1) 走査電子顕微鏡所見

(1) 酸腐蝕研磨面

研磨面に酸を作用させた後、その表面を走査電子顕微鏡で観察すると、ところどころにわずかに酸によって腐蝕されて陥凹した溝状の構造物が観察される(図 19)。これらはセメント質の表面にはほぼ平行に走行し、シャーピー線維に対してはほぼ直交する方向に配列しており、一種の成長線であると思われる。また、これらの成長線は必ずしも連続したライン状の構造物として出現するとは限らず、その陥凹の程度も隣接するシャーピー線維でそれぞれ異なっていることが多い。走査電子顕微鏡で認められるこれらの溝状の構造物は、光学顕微鏡で観察されるものより、全般的に数が少なく、また、その間隔も広く、きわめて不明瞭な状態となっている。ときには、個々のシャーピー線維の単位で、比較的細かい溝状の陥凹が数本の単位でまとまって見られることもあるが、そのような状態はごくまれである。

(2) 脱有機研磨面

研磨面を次亜塩酸ナトリウムで処理した後、その表面を走査電子顕微鏡で観察を行うと、セメント質の表面に対してほぼ平行な方向に走行する多数の溝状の構造物が観察される(図 20~22)。酸腐蝕研磨面ならびに脱灰研磨面の場合と比べて、脱有機を行った標本の場合には、より細かい溝状の構造物が多数出現する傾向が見られる。これらの溝状の構造物は、比較的規則的に配列している部分で計測すると、平均 $0.5\mu\text{m}$ 程度となっており、光学顕微鏡において観察された微細な成長線とはほぼ同じ間隔で配列している部位も見られる。また、これらの線状構造物も光学顕微鏡において観察されたように、不明瞭ながら個々のシャーピー線維の単位で屈曲ないしはわずかな湾曲が見られ、それらが連続して一本の成長線を構成している状態も認められる(図 21, 22)。

2) 透過電子顕微鏡所見

(1) 未脱灰未染色超薄切片

未脱灰超薄切片を作製し、未染色のまま透過電子顕微鏡を用いて観察すると、シャープピー線維に対して直交ないしやや斜め方向で、セメント質の表面に対してはほぼ平行な方向に走行している電子密度のやや高い部分と低い部分が見られ、それらが交互に配列して成長線様の形態をなしている状態がところどころに認められる(図23)。これらの構造物は光学顕微鏡において認められた微細な成長線様の構造物と同様に、個々のシャープピー線維の単位でごくわずかに湾曲している状態も認められる。しかし、シャープピー線維の配列が乱れているような部位では、これらの構造物を観察することがほとんどできない。いずれにしてもこの両者のラインは電子密度の差が比較的少なく、またこのようなラインを認めることができる部位はごく限られている。

(2) 未脱灰電子染色超薄切片

未脱灰超薄切片に電子染色を施して、透過電子顕微鏡で観察を行うと、電子密度の高い部分と低い部分が交互に配列して、それぞれ細かい成長線様の形態をなしているのが明瞭に認められる(図24~28)。これらの成長線様の形態をなしているラインは、基本的には光学顕微鏡標本の場合と同様に、セメント質の表面に対してほぼ平行な方向に配列している。また、これらのラインも細かい波状の形態をしており、それらが個々のシャープピー線維の単位で屈曲あるいは湾曲している状態も見られる(図24~28)。その波状湾曲の凸部は、ほとんどの場合セメント質の表面側を向いている。電子密度の高いラインと低いラインがそれぞれ均一の幅で、等間隔に並んで規則的な成長線様の配列状態を示している部位も見られる(図25)。そのような部位で電子密度の高いラインならびに低いラインの幅を計測してみると、平均 $0.45\mu\text{m}$ 程度となっている。場所によっては、両者ともその幅、間隔ともに一定せず、かなりばらつきも見られる。同一ラインでも隣接のシャープピー線維に移行すると、とたんにその幅、間隔とも狭くなり、また、

その逆に広くなることもある(図25, 28)。シャープピー線維が斜断されているような断面に見られるラインは、シャープピー線維が縦断されている断面に出現しているラインに比べて全般的に幅、間隔ともに広くなるとともに、波状の湾曲の程度もやや弱くなる傾向が見られる(図25, 28)。シャープピー線維の部分は全般に電子密度が高い場合が多いが、なかには電子密度がやや低いこともある。また、個々のシャープピー線維の辺縁部付近は、一般に電子密度が低くなっている傾向が見られる(図25, 26)。電子密度の高い暗調なラインも、電子密度の低い明調なラインも、電子密度が高いシャープピー線維の部分を通過する際には、同一ラインでもその部分だけ電子密度がやや高くなる状態が見られる(図27, 28)。しかし、電子密度が高いラインも低いラインも、基本的には微細な粒子状ないしは結晶様の形態をした構造物が観察される。電子密度が高い部分は、そのような構造物が密に存在している(図28)。

IV. 考 察

Shimamine¹⁵⁾は、セメント質を原生セメント質と第二セメント質に分け、また第二セメント質は無細胞性のヘマトキシリンに濃染する層が織り込まれていて、この層を層板間層と名付けた。以来、この層板間層の構造に関して多くの観察^{4,7)}がなされている。近年では、この構造物は骨組織に見られる休止線^{31~36)}に相当し、また一種の成長線^{3,6,7,12,14,37)}であると考えられている。また、このセメント質の成長線は、一般に石灰化の良好な部位であるという見解^{4,6,7,12,38~40)}が多い。また、なかには石灰化の良好な成長線と、それに伴行する石灰化不全の部位が隣接していて、脱灰や脱有機などの処理によってその部に段差が生ずるという報告⁴⁰⁾も見られる。一方、無細胞セメント質(原生セメント質)にも、成長線が出現することが確認されている^{6,12,41,42)}。この成長線は石灰化度が高いという報告⁶⁾も見られるが、いまだにその構造的特徴や形成由来などに関しては不明な点が多い。

1. 光線ならびにX線の透過性と成長線の関連性について

無細胞セメント質について、研磨標本を作製し、無処置のままで、通常の光学顕微鏡を用いて観察を行うと、明調なラインと暗調なラインとからなる多数の線条構造物が認められる。これらの線条構造物は、セメント質表面ならびにセメント・象牙境に対してほぼ平行な方向に配列しており、一種のセメント質の成長線であると考えられる。また、これらの構造物とはほぼ同様の形態をした無細胞セメント質の成長線様構造物に関しては、従来からいくつかの報告^{6,12,42)}が見られる。無染色研磨標本で出現するこの線条構造物は、顕微鏡の絞りを操作し、コントラストを上げた状態で観察を行うと、より明瞭なラインとして出現するものであり、その部の光線の透過性の差によって明暗の差が出るものと解される。すなわち、光線の透過性の良好な部分は明調なラインとなり、一方、光線の透過性が不良な部分は暗調なラインとして出現するものと思われる。従来から、歯や骨などの石灰化硬組織においては、このように光線透過性の良い部分は悪い部分に比べて、一般に石灰化度が高いといわれてきている⁴⁾。しかし、光線の透過性の良否は、その部の組織の密度にも左右されるものであり、隣接の部分より密度が高い場合には、そこを通過する光線の散乱が少なく、したがって、光の散乱の多い隣接部より透過光が多い分、明るく見えることになる⁴⁾。石灰化硬組織においては、結晶などの量が増し、石灰化が亢進することによってその部の密度が上がると考えるのが常道であるが、エナメル質は例外としても、象牙質ならびにセメント質は相当量の有機成分⁷⁾を含んでおり、いかに石灰化硬組織といえども、その部の密度を決定する要素を石灰化のみに求め、有機成分を度外視するわけにはいかならないと思われる。そのような観点に立つと、本研磨標本において、光線透過性の良好な部分（明調ライン）を不良な部分（暗調ライン）より石灰化度が高い部分と結論することはできない。また、この50~70 μm 程度の厚さの研磨標本において、顕微鏡の焦点位置を変化

させることにより、明・暗のラインが反転する現象も見られ、特に厚い研磨標本においてはそのような傾向が強い。

研磨標本にわずかに酸を作用させて観察を行うと、未処理のままの研磨標本に比べて、多少成長線がそれより明瞭となる。これは酸によって表面が腐蝕され、セメント質の無機成分が部分的に溶解消失するために、光線の透過性による明暗の差がより強調されたとも考えられるが、逆にそれによって明暗が反転する可能性のあることも否定できない。それを確認するためには、同一切片を用いて未処理の所見と、酸処理後の所見を同一ラインで比較すればよいのであるが、前述したように、厚みのある研磨標本においては焦点距離の変化による影響などもあって、厳密に同一ラインと同定することはかなり困難である。

研磨標本を長時間酸に浸漬して、完全に脱灰を行ってから、再度観察を行うと、そのような石灰塩分を除去した後の研磨標本（脱灰研磨標本）においても、無処置の研磨標本（無染色研磨標本）および酸腐蝕研磨標本において出現する成長線と同様の線条構造物を、それよりやや不明瞭ながらも認めることができる。したがって、この成長線は、下地となっているコラーゲン線維などの有機成分に、もともと光線透過性の違いが生ずるような密度の差が存在していたか、あるいは石灰化によって、それらの下地が二次的に構造変化^{2,43~46)}したかのどちらかであると推察される。厚さ5 μm の通常の脱灰パラフィン切片を脱パラフィンを行って、無染色のままの状態を観察を行っても、同様に成長線様の構造物が認められ、しかも、50 μm 前後の厚さの脱灰研磨標本の場合より明瞭に観察される。脱灰切片のようなかなり薄い切片においても、このように成長線が明瞭に認められることは、下地の有機成分に生じている構造変化が一次的にせよ、二次的にせよ、かなり微妙なものであることを物語っていると思われる。また、脱灰切片の方が脱灰研磨標本より薄いため、微細なラインであってもそれらが重なり合うことが少なく、したがってこのライン状の構造物がより鮮明

に見えるものと解される。

従来から、石灰化硬組織の石灰化度を検討する目的で、microradiogram (CMR) による観察が行われている。そのような方法によって、成長線（線条構造物）の石灰化度を評価している研究^{6,31,40,47,48})も多く見られる。

著者も無細胞セメント質の部分について、研磨標本を作製し CMR で観察を行った。その結果、無細胞セメント質には、通常の領域に比べて、X線透過性がやや低いラインと、高いラインが不明瞭ながら認められ、これらはいずれもセメント質表面にほぼ平行に配列していることから、成長線の一種であると思われる。しかし、X線の透過性も先に述べた光線の透過性の場合と同様に、その部に存在する物質の密度あるいはX線の吸収度によって決まる⁴⁹⁾ものであることから、X線の透過度が低いからといって、それのみで、ただちにその部の石灰化度が高いとはいえない³¹⁾が、石灰化硬組織においては、X線の透過性が石灰化度の差異を示す一応の目安とされている。

2. シャーピー線維と成長線の関係について

研磨標本の表面を酸でわずかに腐蝕して観察を行うと、無細胞セメント質のシャーピー線維の束の輪郭が比較的明瞭に認められるようになる。また、脱灰切片における未染色切片、ヘマトキシリン・エオジン染色切片、アザン染色切片、PAP 鍍銀染色切片においても同様である。さらに、セメント質の研磨面に酸および次亜塩素酸ナトリウムを作用させて観察を行った場合にも、その表面構造の違いによってある程度シャーピー線維の走行と輪郭を認めることができる。もちろん、透過電子顕微鏡による超薄切片の観察においても、シャーピー線維を構成しているコラーゲン線維の配列状態や結晶の沈着状態などを観察することができる。無細胞セメント質はシャーピー線維が豊富^{1,2,4,6,13,39)}で、それらが下地のコラーゲン線維の大部分を占めていることが知られている。これらのシャーピー線維はセメント・象牙境からセメント質の表面に向かって走っている⁴⁾が、同じ無細胞セメント質においても、その存在部位の違いや、

また同一部位でも、局所的にシャーピー線維の走向や線維の構成状態が異なることもよく知られている^{6,39,50)}。著者の観察においても、無細胞セメント質にはシャーピー線維が密で、太い束をなしており、それらが基本的にはセメント・象牙境あるいはセメント質表面に対して直交する方向、あるいはやや斜め方向に配列している状態が認められる。研磨標本、脱灰切片ならびに超薄切片で見た場合に、このように比較的太いシャーピー線維が明瞭な束をなして整然と配列しているような部位では、微細な線条構造物からなる成長線が明瞭に観察されることが多い。しかし、シャーピー線維が細く、その配列が乱れ、明瞭な束を構成するような状態が認められない部分では、成長線様の構造物も全般的に不明瞭となる傾向がある。シャーピー線維の束が明瞭で、それらの線維の束が整然と比較的平行に規則性を持って配列しているような領域に出現している微細な成長線を拡大して観察すると、それぞれの成長線は全体としてシャーピー線維の長軸に対して、ほぼ直交するような方向に走行しているが、それぞれの成長線には細かい波状の湾曲が見られ、それらの個々の湾曲は、個々のシャーピー線維の単位で生じており、隣接するシャーピー線維の境界部に屈曲している状態が認められる。しかも、波状の湾曲の凸部は、セメント質の表面側を向いていることが多い。未脱灰超薄切片に電子染色を施して、透過電子顕微鏡で観察した場合にも、電子密度の高いラインと低いラインが交互に配列して出来る微細な成長線様の構造物が観察されるが、この成長線においても、シャーピー線維の単位で湾曲と屈曲が認められ、また、その成長線の幅や間隔などの状態から見て、電子顕微鏡で見られるこれらの成長線は、光学顕微鏡で観察される微細な成長線に相当するものであると思われる。光学顕微鏡で見られる明・暗のラインや染色性の高・低によって出現するこれらの成長線様の構造物は、いずれもその幅、間隔ともに変化に富んでいる。しかし、なかには幅、間隔とも一定し、かなり規則的な成長線の形態をなしている部位もあり、そのような部位は決まって

その成長線の幅、間隔ともに狭いという傾向が見られる。また、それぞれのラインは、明調（色素嫌性）なラインも、また、暗調（色素好性）なラインも、光学顕微鏡で観察するかぎりでは、同一ラインにおいては、ほぼ一定の幅となっているように見えるが、超薄切片を作製し、透過電子顕微鏡で見ると、同一ラインでも、隣のシャープ線維に移行すると幅、間隔ともに多少変化している。超薄切片上で、シャープ線維が縦断されているような線維に見られる成長線が、斜断ないし横断に近い断面のシャープ線維に移行する際には、その成長線の幅、間隔ともにわずかに広がる傾向が見られ、波状の湾曲の程度も多少弱くなる。このことから、この成長線はもとも幅の広いものも、狭いものもあるが、同一ラインではある程度一定の幅や間隔を有しているが、超薄切片上では、出現するシャープ線維の断面によって、幅、間隔とも多少変化して見えることが理解される。いずれにしても、無細胞セメント質に見られるこれらの微細な成長線は、シャープ線維上に出現するもので、その下地となっているシャープ線維の線維構成、配列状態などの影響を受けて消長し、また形態も変化するもので、石灰化硬組織にあって、通常の基質線維がほとんどなく、それをシャープ線維が代行しているような構造となっている無細胞セメント質に出現する特有の成長線であるといえる。

無細胞セメント質においては、前述したような微細な多数の成長線のほかに、脱灰切片において 2～3 本程度、ヘマトキシリン・エオジン染色ではヘマトキシリンに染色される暗調なライン、アザン染色と PAP 染色では色素や銀にほとんど染まらない明調なラインが明瞭に観察されることがある。このラインは一般に幅が広くそれを境として、シャープ線維の配列方向が変化することが多く、また、細胞セメント質（第二セメント質）がその表面に添加形成されていることもある。しかし、無細胞セメント質特有の微細な成長線は、その前後でシャープ線維の配列方向が変化するようなことはなく、また、シャープ線維あって

の構造物と考えられるのに対し、2～3 本程度出現する幅の広い明瞭な成長線様の構造物は、後述するように、それと別種な成長線と思われる。

3. 成長線の構造的特徴について

未脱灰の未染色超薄切片について透過電子顕微鏡で観察を行うと、無細胞セメント質の領域には、結晶がやや密に沈着している部分とそれよりやや疎な部分とが交互に配列している層が見られる。これらの層はシャープ線維に対して直交ないしやや斜め方向に交差するように走行し、しかも全体としてはセメント質表面にほぼ平行な方向に配列している。この層は、その配列方向と幅などの状態から見て、光学顕微鏡において観察された無細胞セメント質特有の微細な成長線にほぼ一致するものであると思われる。結晶の沈着度の差によって、このように成長線が出現する部位もあることは事実であるが、このように未脱灰未染色超薄切片で不明瞭ながら成長線様の構造物が確認できるのはきわめてまれである。したがって、無細胞セメント質に見られるこれらの微細な成長線は、細胞セメント質（第二セメント質）^{4,6,7,12,39,40}や骨の休止線^{31~36}などのように、石灰化度の違いによって比較的明瞭に認められる成長線とは、かなり異なった性格のものである可能性が高い。

脱灰切片にヘマトキシリン・エオジン染色を施して観察を行うと、無細胞セメント質には、ヘマトキシリンに好染する暗調なラインと、ヘマトキシリンに染色されず、エオジンに淡染する明調なラインが交互に配列して微細な成長線様の構造を呈している状態が見られる。明調なラインも暗調なラインも場所によって幅、間隔ともに差が見られる。しかし、幅、間隔ともに狭いものでは、それらが一定となり、全般的に規則的な成長線の状態を示す傾向が見られる。

従来から歯や骨組織の脱灰切片において、ヘマトキシリン・エオジン染色を施して観察した場合、一般にヘマトキシリンに染色される部分は、エオジンに染色される部分に比べて石灰化度が高いという報告が多く見られる^{4,6,31,32,51,52}。また、石灰化硬組織においてヘマトキシリンに染色される部位

は、そこに塩基好性の物質が他の部分に比べて多く存在している可能性もあるが、ヘマトキシリンは、カルシウムとレーキを形成し、石灰沈着をきたした基質を染め出すともいわれており、脱灰切片で見られる石灰化部のヘマトキシリン可染性は、脱灰後にもなお残存して、カルシウムとヘマトキシリンとの反応によって染まるという考えもある⁵²⁻⁵⁴⁾。石灰化硬組織においては、石灰化が進行するとその下地をなしている基質線維の一部が損傷を受け、そのような線維は脱灰によって部分的に溶失し、その面が陥凹するか、あるいは微細な凹凸が生ずることが、本教室の研究によって認められており^{43,55,56)}、このような面にもヘマトキシリンが付着することから、脱灰切片のヘマトキシリン好染部位が石灰化良好部位であることの説明がなされている。著者が観察を行ったセメント質においても、シャーピー線維の辺縁部が中軸部に比べてヘマトキシリンに青染する傾向が見られ、すでに多くの報告で知られているように、シャーピー線維の場合には、石灰化不全の中軸部に比べて、辺縁部の石灰化が良好となっていると思われることから、本切片においても、石灰化の良好な部位がヘマトキシリンに染色される傾向があるとする説明を裏付けているように思われる。このような観点に立ってみた場合、ヘマトキシリン・エオジン染色を施した脱灰切片において、ヘマトキシリンに好染している暗調なラインは、ヘマトキシリンにほとんど染まらない明調なラインに比べ、石灰化度が高くなっている部位であるともいえる。脱灰切片にアザン染色を施して観察を行うと、アニリン青あるいはアゾカルミンに染色されるライン（暗調ライン）と、それらの色素にあまり染まらない明調なラインからなる多数の微細な成長線様の構造物が認められる。アザン染色は結合組織の線維成分（主として膠原線維）と、筋線維や他の細胞成分を色分けするためには有効な染色法で、古くから活用されてきている⁵⁷⁾。また、このアザン染色やマッソントリクローム染色などの染色法を歯や骨などの硬組織に応用して、その脱灰切片における所見と電子顕微鏡やCMR

像の所見と比較して、石灰化の状態なども検討されている^{2,21,31,46,51,58,59)}。また、アザン染色などは物理的機構によって染める染色法⁵⁷⁾の一つであるとも考えられており、その理論によれば、最も粗構な部分には最も大きいアニリン青の色素粒子が入り、次いでアゾカルミンの色素粒子が入り、最も密構な部分には、最も粒径の小さいオレンジ G の色素粒子が入ると考えられている⁵⁷⁾。そのような理論に従えば、著者が観察を行った無細胞セメント質でアニリン青あるいはアゾカルミンなどに染色されるラインは、それらの色素粒子が入り込む適当な間隙が存在していたと考えられる。一方、これらの色素に染まらない明調なラインは、これらの色素粒子が入り込む余地がないほど密構な部分であるか、その反対に間隔が大きすぎて色素粒子が付着することが不可能な部分であったかのどちらかであると推測される。本来、同一シャーピー線維においては、何本かの微細な成長線が存在する程度の範囲に限ってみれば、その部の下地をなしている線維自体に形成時には、それほど構造的な違いがあったとは考えられない。とすれば、脱灰切片で色素粒子が入っていない明調なラインの部分は、石灰化の亢進によってその部が損傷を受け^{2,43-46)}、脱灰後色素粒子が付着できないほど局部的に結晶の溶解とともに線維成分が消失してしまったか、あるいは逆に、その明調部には、脱灰による結晶の溶出後も多量の有機成分などが残存していて、色素粒子がそこに入り込む余地がないほど密構な部分であったかのどちらかである可能性が高い。しかし、後述するように無細胞セメント質のうち、石灰化前線（セメント質最表面）近くにおいては、アゾカルミンに淡染するものの、その深層に向かうと、この色素にほとんど染色されない明調なラインに移行している状態が認められる。形成後の時間経過や形成期か休止期かによっても異なるが、通常、石灰化硬組織においては、一般に石灰化前線（セメント質表面）近くでは、下地のコラーゲン線維が酸でかなりの量が溶出するほどまで急激に石灰化が進行する状態にはいたらないであろうという考えに立てば、この色

素に染色されない明調なラインは、石灰化が特に亢進している部分であるという考えにはいたらないように思われる。

アザン染色切片について観察後、脱色を行い、その同一切片に再びヘマトキシリン・エオジン染色を施して、アザン染色とヘマトキシリン・エオジン染色による染色性を比較してみると、アゾカルミンあるいはアニリン青に染色される暗調なラインは、ヘマトキシリンに染色される同じく暗調なラインと一致することが確認され、アザン染色でほとんど色素に染まらない明調なラインは、ヘマトキシリンにもほとんど染まらない同じく明調なラインと一致することが確認された。脱灰ヘマトキシリン染色切片において著者が考察した見解を、この同一切片における染色性を比較した所見に当てはめてみると、ヘマトキシリンに染色される暗調ライン、すなわち、アザン染色でアニリン青あるいはアゾカルミンに染まる暗調ラインは、ヘマトキシリンにほとんど染色されない明調なライン、すなわちアザン染色でも色素にほとんど染まらない明調なラインより、やや石灰化が亢進している可能性もあると思われる。研磨標本に酸腐蝕を行ってヘマトキシリン染色を施した切片においては、ほとんどヘマトキシリンに染まるラインは出現せず、また、研磨面に酸腐蝕を行って走査電子顕微鏡で見た場合には、微細な成長線に相当すると思われるラインがごくわずかに認められる程度であり、また、未脱灰未染色超薄切片で結晶の沈着度の差によって出現する線条構造物は、ごくわずかに認められるにすぎないことなどから、この無細胞セメント質に見られる微細な成長線は、通常のエナメル質の成長線^{4,7,13,56,60)}、骨の休止線^{31~36)}、あるいは細胞セメント質(第二セメント質)の成長線^{3,6,7,12,14,19,37)}などに見られるような、明瞭な石灰化度の差によって出現する成長線様の構造物と、やや性格を異にするのではないかと思われる。研磨面に次亜塩素酸ナトリウムを作用させて、脱有機処理を行ってその表面の形態を見てみると、表面に酸処理を行った場合より、細かい溝状の構造が多く出現し、いわゆる光学顕微鏡で見

られる微細な成長線様の構造物に相当するものが多く出現する。このようなことを考え合わせると、無細胞セメント質においては、むしろ通常の領域より石灰化度の低い有機成分に富んだ部分が成長線の一部を形成しており、脱灰切片のヘマトキシリン・エオジン染色、ならびにアザン染色で色素にほとんど染まらない明調なラインがその部分に相当する可能性もあるように思われる。

脱灰切片を無染色のまま観察した後、その同一切片にヘマトキシリン・エオジン染色を施して観察し、それらの所見を比べて、光線の透過性とそのラインの染色性の関係について検討してみると、光線の透過性の低い暗調なラインは、ヘマトキシリンに染色される同じく暗調なラインに一致し、また、光線透過性がそれよりやや高い明調なラインは、ヘマトキシリンにほとんど染まらない、同じく明調なラインにほぼ一致することが確かめられた。もちろん、光線の透過性の観察に用いた脱灰切片は研磨標本の場合よりはるかに薄い標本であるが、できるかぎり切片の最表面に焦点を合わせて観察を行い参考とした。この所見を硬組織におけるヘマトキシリン・エオジン染色の染色性に関する従来の見解に当てはめて判断すると、光線透過性の高いラインは、少なくとも透過性が低いラインよりも有機成分が多く、それによって均質な構造を示しているのではないかとも思われる。

脱灰切片に PAP 鍍銀染色(変法)を施して観察を行うと、銀に黒染している暗調な線条の構造物と、銀にほとんど染まらない明調な線条の構造物からなる多数の微細な成長線様の構造物が認められる。鍍銀染色において黒染する部分は、そこに銀粒子が付着する間隙があることを示すものであり、また、その場に銀を還元する物質が多く存在すればするほど、黒くなることが知られている⁶¹⁾。水城³²⁾は PAP 鍍銀法を用いて歯槽骨の線維骨に見られるシャーピー線維について観察を行い、線維骨内のシャーピー線維の未石灰化部は、好銀性が増加していると述べている。このような PAP 鍍銀染色の特徴や水城の所見などを参考としてみ

た場合には、無細胞セメント質において PAP 染色で銀に黒染される成長線の暗調部は、銀に染色されない明調部に比べてやや石灰化度が低くなっているシャーピー線維の部分であることになり、それらが横に連続して成長線の一部を形成しているとも考えられる。また、藤井⁶²⁾によれば、セメント質に見られるシャーピー線維は、未石灰化のままか、極軽度に石灰化したままであるといい、また、多くの場合、封入後、時間の経過に従って石灰化するが、石灰化が増すことはまれであると述べている。また、無細胞セメント質では、シャーピー線維も全般的に石灰化が良いとする見解もある¹⁹⁾が、個々のシャーピー線維の束のうち、石灰化度が辺縁部より低い^{6,7,13,32,41,63)}とされている中軸部の銀親和性は高い傾向が見られる。このことから本切片において微細な成長線を構成しているラインのうち、暗調部は明調部より石灰化の程度が低い部分である可能性が高いといえる。

脱灰切片においては、これまで述べた微細な成長線と異なって、かなりそれより幅が広く、明瞭なものが 2～3 本程度観察され、前述したようにこの部分を境としてシャーピー線維が途切れたり、強く屈曲するなどの状態が見られる。この成長線は、脱灰ヘマトキシリン・エオジン切片ではヘマトキシリンに濃染し、同一切片にアザン染色を施した場合には、色素にほとんど染まらない幅の広いラインとなっている。また、PAP 鍍銀染色切片では、特に明調な幅の広いラインが見られることがあり、CMR でも同程度の数の X 線透過度が低いラインが見られる。これらの成長線はその出現状態や形態的特徴から、一種の成長線であると思われる。この成長線は、脱灰ヘマトキシリン・エオジン切片でヘマトキシリンに染色され、PAP 染色では銀に染色されず、X 線透過度が低いことなどから、石灰化度の高い成長線である可能性が高く、また、この成長線がアザン染色でほとんど染色されないのは、その部の石灰化が充進した結果、脱灰後はそこに色素粒子が付着できないほど広い間隙が生じたためと思われる。したがって、前述したように、この成長線は骨の休止線あるいは

は細胞セメント質(第二セメント質)の成長線(層板間層)に類似したものであり、この点からも無細胞セメント質に見られる特有の微細な成長線とは構造と性格を異にするものであると思われる。

Armitage⁷⁾は、無細胞および有細胞セメント質は、どちらも成長線によって層に分けられているが、この成長線はセメント質が周期的に形成されるものであることを示しており、また、成長線は光学顕微鏡観察用に脱灰した標本で最もよく確かめられると述べている。さらに、この成長線は超微細構造のレベルでは同定するのが困難であるとも述べている。そのようなことから、従来の無細胞セメント質の成長線に関する研究では、透過電子顕微鏡による観察像は示されていない。著者は、未脱灰超薄切片に切片上でウランと鉛の二重電子染色を施して、透過電子顕微鏡で観察を行った結果、電子密度の高い部分と低い部分とからなる層が交互に配列して、成長線様の形態をなしている状態を比較的明瞭に認めることができた。この成長線様の構造物はその幅、間隔とも光学顕微鏡で認められる微細な成長線とほぼ一致するものである。これと同様の成長線と思われるものが、先に述べたように、未脱灰未染色超薄切片においても観察され、この場合には、成長線は結晶の沈着度の差によって出現しているが、この未染色切片では成長線はきわめて認めにくい状態であった。しかし、電子染色を施して観察を行うと、比較的多くの成長線が認められるようになる。これは、後述するように、やや酸性に傾いている染色液によって結晶が染色中にある程度溶解消失するとともに、そこに存在していた有機成分が染色されることによって、成長線が比較的明瞭に出現ようになったとも考えられ、無細胞セメント質に見られる微細な成長線は、結晶の沈着密度の差(石灰化度の差)のみに起因する成長線ではないようにも思われる。一條ら²²⁾は、正常なエナメル質の未脱灰切片を透過電子顕微鏡で観察すると、切片上で酸腐蝕を行わないかぎり、未処置の状態のものではほとんど小柱の横紋構造は観察されないが、う蝕によって侵食されたエナメル質では、酸腐蝕

標本と同様、石灰化の良好な部分の結晶がより溶解減少し、横紋構造が明瞭に出現すると述べている。未脱灰のままエポキシ樹脂に包埋し、それらの試料について超薄切片を作製し、その切片上で電子染色を行った場合には、pH のやや低い染色液によって染色中に結晶成分がかなり溶解消失する。その量は切片の厚さ、包埋条件ならびに染色条件によって多少異なると思われるが、未脱灰超薄切片に切片上で電子染色を施した場合には、一條ら²²⁾がエナメル小柱の横紋で示しているように、石灰化度が低い部分の方が、染色後においては、結晶がかえって多く残存し、また電子密度が高い状態となっていると思われる。もともと石灰化度が高く、結晶が多く存在していた部分は結晶が密で、結晶間隙への包埋用の樹脂の浸透が少なく、また結晶間隙の有機成分も同様に少ないものと思われるのに対して、石灰化度の低い部分は結晶間隙がそれより広く、したがって樹脂の浸透と有機成分の量も多いと考えられる。このような部位が染色液にさらされた場合には、おそらく、結晶が密な石灰化度の高い部位にある結晶は、樹脂や有機成分による被覆が少ないために、かえって多くの結晶が溶解消失し、樹脂や有機成分によって周囲が被覆されている石灰化度の低い部分よりもそこに残存している結晶の量が染色後は少なくなることがあると思われる。それに加えて、有機成分の多い分だけ、石灰化度の低い部位は、染色液に染まり、多く残存している結晶や樹脂とともに、電子密度がむしろ高くなる傾向があるように思われる。そのようなことから、著者が観察を行った無細胞セメント質の成長線においては、未脱灰超薄切片に切片上で電子染色した切片で、電子密度が高くなっているラインの部分は、電子密度が低いラインの部分より結晶成分も多く残存しており、本切片で電子密度の高いラインは低いラインより、もともと石灰化度がわずかに低く、有機成分もやや多くあった部分である可能性があると思われる。また、シャーピー線維は辺縁部のほうが中軸部より石灰化度が良いとされており^{6,7,13,32,63)}、本超薄切片においても、シャーピー線

維の辺縁部の電子密度が中軸部より低下している状態が見られることは、この関係を裏付けていると考えられる。以上のような透過電子顕微鏡所見と光学顕微鏡ならびに走査電子顕微鏡所見を総合してみると、無細胞セメント質に見られるこれらの微細な成長線は、石灰化度の差によって生ずる可能性もあるが、それはごくわずかの差であって、それ以外に有機成分の差による影響もかなり強いように思われる。

電子密度が高いラインも、また電子密度が低いラインも、電子密度が高いシャーピー線維を通過する部分では、同一ラインでもそれに伴って電子密度がわずかに高くなる傾向が見られる。このように、この成長線はシャーピー線維の石灰化度や有機成分の量の変動や構造変化に影響を受ける状態が見られることから、きわめてシャーピー線維との関連性が強いものであるといえる。

脱灰切片にヘマトキシリン・エオジン染色を施して無細胞セメント質の最表層部を観察すると、ヘマトキシリンに染色されている石灰化前線の部分が、個々のシャーピー線維の単位で波状の湾曲を呈している状態が認められる。この波状の形態は、前述した微細な成長線に見られる個々の波状の湾曲と一致するものである。Schroeder⁶⁾は、無細胞セメント質(無細胞性外部性線維セメント質)の表面を走査電子顕微鏡で観察し、石灰化前線におけるシャーピー線維の形態は、ドーム状をしていることを示している。これらのことから、無細胞セメント質に見られる微細な成長線の形態形成は、石灰化前線の形態を反映し、直接あるいは間接的にそれと深い関わりを持っているものと思われる。また、最表層の一層がこのようにヘマトキシリンに濃く染まる層(暗調な層)をしている場合と、それよりヘマトキシリンに対する染色性が低く、エオジンに淡染する明調な層が見られる場合とがある。この明調な層、あるいは暗調な層がそれぞれ隣接のものと連続して明調なライン、あるいは暗調なラインを形成している状態も見られる。アザン染色切片では、セメント質の表層部が、深層部に比べて全般的にアゾカルミンに染色

される傾向が見られるため、最表層の石灰化前線に相当する部分もアゾカルミンに染まり、その部分がシャーピー線維ごとの単位で波状の湾曲を呈している。また、アザン染色切片においても、最表層部にアゾカルミンに濃く染まる層とアゾカルミンに淡染する層とが見られ、それらが互い違いに並んで無細胞セメント質の全域に見られる通常の微細な成長線と同様の形態を示している状態が見られる。また、これらのラインは、セメント質の深層側に向かうに従って、通常の成長線と同様染色性が低くなっている傾向が見られる。したがって、ヘマトキシリン・エオジン染色切片とアザン染色切片で観察されるこれらの所見から、無細胞セメント質に見られる微細な成長線は、セメント質の形成時に、その直後からそこに形成される可能性があるものと思われる。しかし、特にアザン染色で見た場合、その場の染色性の変化に伴って成長線の染色性も変化していることから、ある程度は形成後の時間の経過とともに、成長線の構造や性状も変化するものと考えられる。

山下¹²⁾は無細胞セメント質の構造的特徴について観察を行っているが、特に歯根が大幅に露出しているような標本においては、無細胞セメント質に見られる比較的明瞭な成長線が、歯頸側に向かうに従って開大し、そこに細菌などが侵入している像を示している。前述したように著者が観察を行っている2～3本程度の割合で無細胞セメント質に出現する石灰化の程度が高いと思われる明瞭な成長線も、その部で広く離開し、亀裂が生じている場合も認められる。この成長線は特に歯頸部にいたって、セメント質表面に移行的に終わっているような場合には、そこから離開や亀裂が始まっていることが多い。もちろん、切片の作製時に人工的に離開や亀裂が拡大した可能性強いが、この成長線は石灰化度が高い部分であると考えられることから、特に歯根部が露出していて脱灰されたような場合には、下地となっている有機成分がもともと少ないうえに、シャーピー線維がその部分で石灰化の亢進によって損傷を受けて弱くなっている可能性も高く、またその部でシャー

ピー線維が中断しているような場合には、特にこの成長線の部分の結合が弱くなっていることも十分考えられる。したがって、生体中において根面う蝕などが生じた場合には、このような成長線のラインに沿ってう蝕が進行し、それらに侵入門戸を与えることになる可能性も高いと思われる。このような状態が生ずることは、すでに象牙質の成長線においても報告がなされている^{12,21,24-30)}。本来、セメント質の機能は歯を歯槽骨に固定する役割を持っている^{1-4,7,13,14)}が、このようなセメント質の成長線に沿った剥離や構造的崩壊が、歯根膜と接している根尖側のセメント質の領域にまで波及した場合には、この部におけるセメント質の支持機能が局所的に低下することは免れないと思われる。一方、無細胞セメント質に出現する微細な幅と間隔を有する特有の成長線は、著者が考察したように、石灰化度の差にもよるが、むしろ有機成分の沈着あるいは残存状態に周期性があって、それがこの成長線の出現にかなり影響しているように思われ、有機成分の多い成長線の部分があるとすれば、それだけその部のシャーピー線維が石灰化の極端な亢進などによって損傷を受けることが少ないものと思われる。従来から、無細胞セメント質は細胞セメント質より石灰化が良いという見解^{10,19,64)}や無細胞セメント質のシャーピー線維は石灰化度が高いという報告¹⁹⁾も見られるが、シャーピー線維は一般にその中軸部の石灰化が低いともいわれており、その場合には、中軸部とこの有機成分の多い成長線の部分とが石灰化硬組織のなかにあっても、シャーピー線維にある程度の弾性と適当な硬さを与えることができ、シャーピー線維本来の歯の固定という機能を果たすのに適しているとも考えられる。

石灰化硬組織のなかでも、エナメル質は発生過程や構造ならびに無機成分と有機成分の含有比が、象牙質、セメント質ならびに骨組織などと異なっている^{4,7)}。象牙質、セメント質ならびに骨組織は中胚葉性の組織で、基本的にはコラーゲン線維を下地としてそこに無機の結晶が沈着している。下地のコラーゲン線維は主としてそれらの組

織の表面（形成面）に平行に配列する基質線維であるが、それにそれぞれの組織の機能や発生に関連して、コルフの線維あるいはシャーピー線維などがそこに埋め込まれ、同時に下地となっている場合もある。セメント質のうちでも、細胞セメント質は、象牙質ならびに骨組織と同様に、基質線維がその下地の大半を占めており、主としてセメント芽細胞によって形成され、また石灰化も行われている。しかし、セメント質のうちでも、いわゆる典型的な無細胞セメント質においては、シャーピー線維が大半で、基質線維がごくわずか^{1,2,4,6)}となっているため、シャーピー線維が下地の線維をなしていることになる。またこのシャーピー線維は extrinsic fiber^{6,13,18)}などと呼ばれ、歯根膜の線維芽細胞などによって形成されたものであると考えられ、下地の大半をなす線維の由来が細胞セメント質などと異なるものであるといえる。このように、無細胞セメント質は有細胞セメント質と下地となる線維成分の種類、構成状態、由来など構造的違いと、形成細胞やその細胞の役割分担の違いなどがあり、このことが無細胞セメント質のシャーピー線維上に出現する特有の微細な成長線の形成と何らかの関わりがあると推察されることから、今後は発生学的ならびに細胞学的な立場から、この成長線の由来をさらに検討する必要があると思われる。

V. 結 論

ヒトのセメント質の機能を形態学的な立場から究明する研究の一端として、無細胞セメント質に見られる成長線の構造について光学顕微鏡、microradiogram (CMR)、走査ならびに透過電子顕微鏡を用いて観察を行った結果、以下のような結論を得た。

1. 無細胞セメント質には、幅平均 $0.5\mu\text{m}$ 前後の微細な成長線が多数観察される。
2. 無細胞セメント質に見られる微細な成長線は、シャーピー線維が豊富で、それらが平行に整然と配列している領域において明瞭に観察される。

3. また、この微細な成長線は、個々のシャーピー線維の単位で湾曲が見られ、それらが重なって、一本の成長線を形成している。

4. シャーピー線維の単位で出現する成長線の湾曲は、石灰化前線の形態に一致している。

5. このように、微細な成長線は、シャーピー線維上に出現する無細胞セメント質特有の構造物であり、その部のシャーピー線維の構造や配列状態と密接な関連性があるように思われる。

6. また、無細胞セメント質に見られる微細な成長線は、石灰化度の差によって出現する状態も見られるが、その差は軽微であることから、そこに存在する有機成分の差もその出現に関連しているように思われる。

7. 無細胞セメント質には、この微細な成長線のほかに、幅が広く、しかも比較的明瞭な成長線が2～3本程度観察される。この成長線は、通常セメント質の部分に比べて石灰化度が高く、細胞セメント質に見られる成長線（層板間層）に相当するものであると考えられる。

8. また、この成長線は、それに沿って亀裂が生じている場合などもあり、構造的に弱く、また根面う蝕の際には細菌の侵入門戸となる可能性もあると思われる。

謝 辞

稿を終わるに臨み、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました本学歯学部口腔解剖学第一講座の山下靖雄教授に深甚なる感謝の意を表します。また、本研究に際しご援助、ご協力をいただきました口腔解剖学教室の諸先生に厚く御礼申し上げます。

なお、本研究の一部は第35回歯科基礎医学会総会（平成7年9月23日、東京）にて発表した。

文 献

- 1) 山下靖雄：歯周組織の解剖・組織学、石川 烈 歯周病学、東京、1996、永末書店、3-6。
- 2) 陳 妙卿：ヒトセメント質における基質線維の基本構造に関する観察、口病誌 54：635-675、1987。
- 3) 山下靖雄、一條 尚：歯周組織の形態と機能①、Dental Diamond 11(2)：54-57、1986。

- 4) 藤田恒太郎：歯の組織学。東京，1957，医歯薬出版，133-146，159-171.
- 5) 井上昌幸：歯根セメント質の組織学的構造に現れた機能的影響について。補綴誌 4：124-146，1960.
- 6) Schroeder, H. E. : The Periodontium. Germany, 1986, Springer, 23-129.
- 7) Armitage, G. C. : Cementum. Bhaskar, S. N., Orban's Oral histology and embryology, 10th ed. St. Louis, 1986, Mosby, 175-197.
- 8) Schmid, P. : Polarisationsoptische Untersuchungen der Faserstrukturen des Zementes atypisch belasteter Zahne. Acta. Anat. 49 : 236-251, 1962.
- 9) Kronfeld, R. : The Biology of Cementum. J. Am. Dent. Assoc. 25 : 1451-1461, 1938.
- 10) 小沢英浩：歯牙硬組織の微細構造。細胞 4(8) : 2-24, 1972.
- 11) 石川梧朗：口腔病理カラーアトラス。東京，1983，医歯薬出版。
- 12) 山下靖雄，一條 尚：歯根面の解剖学的形態について。日本歯科評論 608 : 70-85, 1993.
- 13) Ten Cate, A. R. : Periodontium. Oral Histology : Development, structure, and function, 3rd ed. St. Louis, 1989, Mosby, 244-247.
- 14) 三枝 博，島村昭辰：口腔組織学。福岡，1975，福岡医科大学出版部，95-101.
- 15) Shimamine, T. : Das sekundäre Zement. Deutsche Zhk. 13 : 3-65, 1910.
- 16) 日本解剖学会：解剖学用語。改訂12版，東京，1992，丸善，251.
- 17) Weidenreich, F. : Über die Beziehungen zwischen Zahn, Alveolarwand und Kiefer. Z. Anat. Entw.-gesch. 83, 1926.
- 18) 雨宮 璋：歯根膜，セメント質の微細形態と病変。細胞 15(1) : 2-6, 1983.
- 19) 小澤英浩：歯の形成と構造。須田立雄，小澤英浩，高橋栄明，骨の科学。東京，1980，医歯薬出版，102-105，110-117.
- 20) Furseth, R. : The fine structure of acellular cementum in young human premolars. Scand. J. Dent. Res. 82 : 437-441, 1974.
- 21) 王 博賢：齶蝕による歯頸部象牙質の構造変化に関する観察一歯頸部象牙質の構造と齶蝕の進行方向の関連性について一。日歯保誌 34(2) : 663-699, 1991.
- 22) 一條 尚，山下靖雄：エナメル質微細構造と齶蝕像について。須賀昭一，石井俊文，齶蝕感受性，東京，1976，（財）口腔保健協会，94-116.
- 23) 須賀昭一：エナメル質形成の観点から見たエナメル質表層の構造と組成。須賀昭一，石井俊文，齶蝕感受性，東京，1976，（財）口腔保健協会，5-42.
- 24) 田熊庄三郎，松宮誠一：図説口腔病理学。東京，1986，医歯薬出版，139-163，200-249.
- 25) 石川梧朗，秋吉正豊：口腔病理学。京都，1983，永末書店，208-249.
- 26) Leon, M. Silverstone and M. Johs, Hicks : The structure and ultrastructure of the carious lesion in human dentin. Gerodontology, 1 : 185-195, 1985.
- 27) 二階宏昌，岡邊治男編：歯学生のための病理学；口腔病理編。東京，1990，医歯薬出版。
- 28) Schupbach, P., Guggenheim, B. and Lutz, F. : Human Root Caries : Histopathology of Advanced Lesions. Caries Res. 24 : 145-158, 1990.
- 29) 松井隆弘：象牙質特にEbner氏層板，Andresen氏横線，Mummery氏象牙質紋理，Owen氏外形線，Richter氏球間網等に就いて。歯科学報 47(7) : 1-17, (8) : 26-39, (10) : 1-15, (12) : 17-34, 1942, 48(1) : 1-13, 1943.
- 30) Schupbach, P., Guggenheim, B. and Lutz, F. : Histopathology of Root Surface Caries. J. Dent. Res. 69 : 1195-1204, 1990.
- 31) 渡辺緯津子：ヒト下顎歯槽骨における休止線ならびに接合線の構造上の特徴に関する観察。口病誌 52 : 397-437, 1985.
- 32) 水城春美：ヒト下顎歯槽骨内壁における線維骨の構造に関する組織学的観察。口病誌 46 : 65-104, 1979.
- 33) Philipson, B. : Composition of cement lines in bone. J. Histochem. Cytochem. 13 : 170-281, 1965.
- 34) Weidenreich, F. : Das Knochengewebe. Molendendorff, W. V., Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen, Band 2 ii. Berlin, 1930, Springer, J., 391-520.
- 35) Frasca, P. : Scanning-electron microscopy studies of 'ground substance' in the cement lines, resting lines, hypercalcified rings and reversal lines of human cortical bone. Acta. Anat. 109 : 115-121, 1981.
- 36) Castanet, J. : New data about cement lines in bone. Calcif. Tissue Int. 31 (Suppl) : Abstract 47, 1980.
- 37) 松尾 朗，矢嶋俊彦：セメント質の線維性基質と層板構造。日歯周誌 32 : 140-149, 1990.
- 38) Yamamoto, H., Masuda, M., Toeda, K. and Suzuki, K. : Microradiographic and histopathological study of the cementum. Bull. Tokyo Med. Dent. Univ. 9 : 141-150, 1962.
- 39) 桐野忠大，一條 尚，小野 毅，根岸伸行，小沢幸重，脇田 稔，山下靖雄，鈴木駿介，後藤仁敏：ヒトセメント質の基質線維について。口病誌 39 : 821, 1972.
- 40) 松尾 朗，矢嶋俊彦：セメント層板と成長線の

- 光学顕微鏡, 走査電子顕微鏡とマイクロラジオグラフィによる比較観察, 歯基礎誌 34:171-180, 1992.
- 41) Furseth, R.: A microradiographic, light microscopic and electron microscopic study of the cementum from deciduous teeth of pigs. *Acta Odont. Scand.* 28: 811-831, 1970.
 - 42) Hopewell-Smith, A.: Concerning human cementum. *J. Dent. Res.* 2: 59-76, 1920.
 - 43) 一條 尚, 山下靖雄, 小野 毅, 脇田 稔, 鈴木駿介, 小沢幸重, 後藤仁敏: 象牙質の基質線維と象牙細管の構造について, 口病誌 42:75-139, 1975.
 - 44) Yamashita, Y. and Ichijo, T.: Comparative studies on the struture of the ameloblasts. Suga, S. ed, *Mechanisms of tooth enamel formation*, Tokyo, 1983, Quintessence, 91-107.
 - 45) 黄 世英: ヒト象牙質表層部における象牙細管の構造に関する観察, 口病誌 52:438-468, 1985.
 - 46) 童 平: 大白歯にみられる第二象牙質の構造に関する観察, 日歯保誌 37:336-368, 1994.
 - 47) Selvig, K. A.: The fine structure of human cementum. *Acta Odont. Scand.* 23:423-441, 1965.
 - 48) Furseth, R. and Johansen, E.: A microradiographic comparison of sound and carious human dental cementum. *Archs. Oral Biol.* 13: 1197-1206, 1968.
 - 49) 東 与光, 青山晨亘: *Oral radiology*. 東京, 1978, 日本医事新報社.
 - 50) 胡 継民: ヒト永久歯のセメント質内 Sharpey 線維の微細構造的研究—咬合と加齢に伴うについて—, 口科誌 42: 1-15, 1993.
 - 51) 西川英次: ヒト下顎歯槽骨における層板骨の基本構造と石灰化度の差に関する観察, 口病誌 51: 238-279, 1984.
 - 52) Okada, M., Mimura, T. and Ishida, T.: The hematoxylin-stainability of decalcified dentin and the calcification. *Proc. Japan Academy* 35: 47-52, 1959.
 - 53) 須賀昭一: 染色法, 須賀昭一, 田熊庄三郎, 佐々木哲編, 歯の研究法, 東京, 1973, 医歯薬出版, 54-69.
 - 54) 大塚長康: 金属とその他の無機物質, 小川和朗, 武内忠男, 森 富編, 新組織化学, 東京, 1975, 朝倉書店, 655-680.
 - 55) 山下靖雄, 小野 毅, 鹿野俊一, 一條 尚: イシダイの歯のエナメル質形成にともなう有機基質の構造変化について, エナメル質比較発生学懇話会記録 1: 37-40, 1989.
 - 56) 桐野忠大, 一條 尚, 後藤仁敏, 小野 毅, 小沢幸重, 山下靖雄, 脇田 稔, 鈴木駿介: ヒトエナメル質の構造に関する走査電子顕微鏡的研究 1. エナメル小柱の形態ならびに小柱鞘と小柱間質について, 口病誌 39: 247-296, 1972.
 - 57) 佐野 豊: 組織学研究法, 東京, 1976, 南山堂.
 - 58) 頼 偉生: 齲蝕による象牙質の構造変化に関する観察, 口病誌 54: 461-489, 1987.
 - 59) 大迫正文: ラット下顎骨関節突起の発育と機能に関する組織学的研究, 口病誌 60: 4-60, 1993.
 - 60) Boyde, A.: Enamel. Berkeovitz, B. K. B., Boyde, A., Frank, R. M., Hohling, H. J., Moxhan, B. J., Nalbandian, J. and Tonge, C. H. ed., *Teeth*. Germany, 1987, Springer, 309-473.
 - 61) 藤田尚男, 藤田恒夫: 標準組織学総論, 第三版, 東京, 1988, 医学書院.
 - 62) 藤井仁毅: セメント質の石灰化像, 歯学 57: 570-592, 1969.
 - 63) Boyde, A. and Jones, S. J.: Scanning electron microscopy of cementum and Sharpey fibre bone. *Z. Zellforsch.* 92: 536-548, 1968.
 - 64) Soni, N. N., Van, Huysen, G. and Swenson, H. M.: A microradiographic and X-ray Densitometric Study of Cementum. *J. Periodont.* 33: 372-378, 1962.

付図記号説明

AC: 無細胞セメント質 D: 象牙質 PM: 歯根膜 SF: シャーピー線維

付 図 説 明

光学顕微鏡写真は撮影倍率, 電子顕微鏡写真は写真倍率を示す。

- 図1 ヘマトキシリン染色研磨標本。無細胞セメント質には、微細な成長線様の構造物が見られるが、これらの微細な成長線は必ずしも特異的にヘマトキシリンに染色されている状態ではない。しかし、この標本において矢印で示したラインは、ヘマトキシリンに染色されている（×100）。
- 図2 脱灰切片（ヘマトキシリン・エオジン染色）。ヘマトキシリンに染まる暗調なラインとエオジンに淡染する明調なラインが交互に配列して、微細な成長線を形成している。また、なかにはヘマトキシリンに濃染するやや幅の広いライン（矢印）も認められる（×200）。
- 図3 脱灰切片（ヘマトキシリン・エオジン染色）。図2と同様に微細な成長線が多数認められる（×200）。
- 図4 脱灰切片（ヘマトキシリン・エオジン染色）。無細胞セメント質の表層部の拡大。石灰化前線もシャーピー線維の単位で波状の湾曲を呈している。また、石灰化前線付近が、ヘマトキシリンに染まる場合とエオジンに淡染する場合とがあり、そのような層が最表層部付近ですでに交互配列しているような状態も見られる（矢印）（×250）。
- 図5 脱灰切片（ヘマトキシリン・エオジン染色）。ヘマトキシリンに染まるラインとエオジンに淡染するラインとからなる微細な成長線のほかに、ヘマトキシリンに濃染する幅の広いライン（矢印）も認められ、そのラインの一部に亀裂が生じている（※）（×100）。
- 図6 脱灰切片（アザン染色）。微細な成長線のほかに、色素にほとんど染まらない幅の広い成長線（矢印）が観察され、図5の切片の場合と同様に、このラインに沿って亀裂が生じている（※）（×100）。
- 図7 脱灰切片（アザン染色）。アゾカルミンあるいはアニリン青に染まる暗調なラインとそれらの色素にあまり染まらない明調なラインからなる多数の微細な成長線が観察される。アニリン青に染まるシャーピー線維が多く見られ、しかもそれらの束が不明瞭で配列も乱れているような部位では、成長線もやや不明瞭となっている（※）（×200）。
- 図8 脱灰切片（アザン染色）。無細胞セメント質表層部の拡大。石灰化前線は、シャーピー線維の単位で歯根膜側に向かって凸湾した形態を呈している。石灰化前線付近において、すでに成長線様の構造物（矢印）が観察される（×200）。
- 図9 脱灰切片（A：ヘマトキシリン・エオジン染色，B：アザン染色）。同一切片にヘマトキシリン・エオジン染色とアザン染色を施して、同一ラインの染色性を比較したもの。通常の微細な成長線においては、ヘマトキシリン染色される暗調なラインが、アザン染色でも色素に染まる暗調なラインと一致し、エオジンに淡染する明調なラインは、アザン染色でも色素にあまり染まらない明調なラインとなっている。しかし、セメント・象牙境やヘマトキシリンに濃染する幅の広い成長線は、アザン染色で色素に染まらない明調な部分となっている（矢印）（×200）。
- 図10 研磨標本（無染色研磨標本）。無細胞セメント質の領域には、光線透過性の差によって微細な成長線様の構造物が不明瞭ながら観察される（×160）。
- 図11 研磨標本（酸腐蝕研磨標本）。セメント質表面に対してほぼ直交する方向に配列しているシャーピー線維の束の輪郭が認められる（矢頭）。また、個々の成長線は必ずしも直線的でなく、細かい波状の湾曲が見られる（矢印）（×160）。
- 図12 研磨標本（A：脱灰無染色研磨標本，B：脱灰ヘマトキシリン染色研磨標本）。脱灰した研磨標本に染色を行わないで、光線透過性の差によって出現する成長線と、ヘマトキシリンに染色を施した場合に出現する成長線を同一切片にて比較したもの。無染色標本で暗調に見えるラインは、染色標本でヘマトキシリンに染まる暗調なラインと一致している。また、無染色標本の明調ラインは、染色標本でも染色性の低い明調ラインと一致している（×200）。
- 図13 脱灰切片（A：無染色，B：ヘマトキシリン・エオジン染色）。脱灰切片に染色を行わないで、光線透過性の差によって出現する成長線と、ヘマトキシリン・エオジン染色を施した場合に出現する成長線を同一切片上で比較したもの。無染色切片で暗調なラインは、ヘマトキシリン・エオジン染色切片ではヘマトキシリンに染まる暗調なラインと一致し、無染色切片で明調なラインは、ヘマトキシリン・エオジン染色ではヘマトキシリンにほとんど染まらない明調なラインと一致している（×200）。

- 図 14 研磨標本 (CMR 像)。X線透過性の低いライン (LL) と高いライン (DL) が不明瞭ながらごくわずかに観察される ($\times 100$)。
- 図 15 脱灰切片 (ヘマトキシリン・エオジン染色)。ヘマトキシリンに濃く染色される暗調なラインと、ヘマトキシリンに染色されず、エオジンに淡染する明調なラインからなる微細な成長線様の構造物が明瞭に観察される ($\times 200$)。
- 図 16, 17 脱灰切片 (PAP 鍍銀染色)。銀によって黒染しているラインと、銀にほとんど染色されない明調なラインが平行に並んで成長線を構成している。シャープピー線維が銀にやや濃く染まっている。成長線は個々のシャープピー線維の単位で湾曲しており、その湾曲の凸部はセメント質表面側を向いているものが多い (矢印) ($\times 250$)。
- 図 18 脱灰切片 (PAP 鍍銀染色)。微細な成長線のほかに、特に幅が広く、銀にほとんど染色されないラインも見られる (矢印) ($\times 250$)。
- 図 19 酸腐蝕研磨面 (走査電子顕微鏡像)。酸腐蝕によってわずかに陥凹した溝状の構造物が不明瞭ながら認められる (矢印) ($\times 2,500$)。
- 図 20 脱有機研磨面 (走査電子顕微鏡像)。セメント質の表面にほぼ平行な方向に配列している多数の微細な溝状の構造物が観察される ($\times 1,000$)。
- 図 21, 22 脱有機研磨面 (走査電子顕微鏡像)。図 20 と同様に微細な溝状の構造物が観察され、これらは波状の湾曲を呈している状態が不明瞭ながら認められる (矢印) ($\times 1,500$), ($\times 2,000$)。
- 図 23 未脱灰未染色超薄切片 (透過電子顕微鏡像)。シャープピー線維に対してほぼ直交する方向に走行している電子密度のやや高い層 (☆) と、低い層 (★) が不明瞭ながら認められる。しかし、シャープピー線維の配列が乱れているような部位では、これらの層はほとんど認められない ($\times 10,000$)。
- 図 24 未脱灰電子染色超薄切片 (透過電子顕微鏡像)。電子密度の高い層 (ライン) と低い層 (ライン) が交互に並んで、成長線様の形態をなしている。これらの成長線は細かい波状の湾曲が見られ、その湾曲は個々のシャープピー線維の単位で生じている。また、湾曲の凸部はほとんどの場合、セメント質の表面側 (写真上方) を向いている ($\times 5,000$)。
- 図 25 未脱灰電子染色超薄切片 (透過電子顕微鏡像)。電子密度の高い層 (ライン) と低い層 (ライン) が交互に並んで、成長線様の形態をなしている。これらの成長線は細かい波状の湾曲が見られ、その湾曲は個々のシャープピー線維の単位で生じている。また、湾曲の凸部はほとんどの場合、セメント質の表面側 (写真上方) を向いている。また、同一成長線でも、隣のシャープピー線維に移行すると、幅、間隔ともに多少変化している状態が見られ、ここでは、シャープピー線維が縦断されている線維に移行する際に成長線の幅がわずかに狭くなるとともに、波状の湾曲の程度もやや強くなる傾向が見られる。成長線の幅と湾曲度の変化を示すために、ライン上に破線を付記した ($\times 8,000$)。
- 図 26 未脱灰電子染色超薄切片 (透過電子顕微鏡像)。電子密度の高い層 (ライン) と低い層 (ライン) が交互に並んで、成長線様の形態をなしている。これらの成長線は細かい波状の湾曲が見られ、その湾曲は個々のシャープピー線維の単位で生じている。また、その湾曲の凸部はほとんどの場合、セメント質の表面側 (写真上方) を向いている。シャープピー線維のうち、辺縁部付近は、中軸部に比べて全般的に電子密度が低い傾向がある ($\times 5,000$)。
- 図 27 未脱灰電子染色超薄切片 (透過電子顕微鏡像)。電子密度の高いラインも、電子密度の低いラインも、電子密度の高いシャープピー線維の部分を通過する際には、同一ラインでもその部分だけ電子密度がやや高くなる傾向が見られる ($\times 10,000$)。
- 図 28 未脱灰電子染色超薄切片 (透過電子顕微鏡像)。電子密度の高い層 (ライン) と低い層 (ライン) が交互に並んで、成長線様の形態をなしている。同一の成長線でも、隣のシャープピー線維に移行すると、幅、間隔ともに多少変化している状態が見られ、ここでは、シャープピー線維が縦断されている線維に移行する際に成長線の幅がわずかに狭くなるとともに、波状の湾曲度もやや強くなる傾向が見られる。成長線の幅と湾曲度の変化を示すために、ライン上に破線を付記した ($\times 16,000$)。