

〔原著〕 松本歯学 7: 111~119, 1981

歯頸部エナメル質表面の走査電子顕微鏡による観察

林 俊子, 中村千仁, 河住 信, 川上敏行, 枝 重夫

松本歯科大学 口腔病理学教室 (主任 枝 重夫 教授)

赤羽章司

松本歯科大学 電子顕微鏡室 (主任 赤羽章司 学士)

Scanning Electron Microscopic Observations on the
Cervical Enamel Surface of Human Teeth

TOSHIKO HAYASHI, CHIHITO NAKAMURA, MAKOTO KAWASUMI,
TOSHIYUKI KAWAKAMI and SHIGEO EDA

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

SHOJI AKAHANE

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

Summary

The cervical enamel surface of embedded human wisdom teeth was observed by scanning electron microscopy.

1. The enamel surface showed that the imbricational structure and the perikymata were recognized to be differences in the level of enamel surfaces. These findings were confirmed to be act by means of stereo-electron microscopic photography.

2. On the freeze fractured surface, the layer of rodless enamel was observed at the enamel surface.

3. While reviewing the literatures, it was found that there were some confusions of the concept of "perikymata", either it showed grooves or ridges. It was considered that perikymata showed the grooves on the enamel surface.

緒 言

人のエナメル質表面には、歯冠をとり巻いて横走する細かい皺襞が認められる。この皺は周波条 perikymata と呼ばれ、Retzius 線条 striae of Retzius が外面に現われたものとされている (Yaeger, 1980³⁵⁾)。周波条は、萌出直後のエナメル質表面では、肉眼的にも明瞭に認められるが、年齢の増加に伴って次第に消失するに至る。

今日に至るまで、エナメル質の表面構造に関しては多数の業績が報告されている^{1) 2) 4)~7) 13) 17) 18) 21) 26) 27) 29) 30) 32) 35) 36)}。しかし、それらの多くは、エナメル小柱の形態、あるいは小柱間質等に関しては詳しく述べているが、周波条及び周波条間の構造に関しては周知の事実としてとり扱い、詳細に記載していない。

そこで、今回著者らは、この周波条および周波条間の構造を検索するため、完全埋伏歯の歯頸部エナメル質を用いて、走査電子顕微鏡で観察した。

なお、従来、成書等において、perikymata という言葉の解釈に混乱が見られるようなので、あわせてその文献的考察も行なった。

材 料 と 方 法

観察に用いた2本の歯牙は、共に完全埋伏歯で、19歳女性の右側下顎第3大臼歯および26歳女性の左側下顎第3大臼歯である。同歯牙は抜去後直ちに10%ホルマリン液にて固定し、比較的歯頸部寄りのエナメル質表面を観察の対象として、ダイヤモンドディスクにて切断し切り出した。分割した試料の一部は、エナメル質表面の凹凸の状態を観察するために、エナメル小柱の方向に沿って凍結切断した。以上の試料は全て、アルコール系列で脱水後、エナメル質表面にある付着物を取り除く目的で、JUS-SOI 型超音波洗浄機を用い28 kHzで5—15分間洗浄した。その後、臨界点乾燥装置 (HCP-1型)を用いて液体炭酸により臨界点乾燥し、イオンコーター (Eiko IB-3型)によって金イオンスパッターコーティングを施して観察試料とした。観察には日本電子 JCSA-733 型走査電子顕微鏡を用い、加速電圧 15 kv で観察した。なお、エナメル質表面の状態をより正確に把握する目的で、10度の傾斜角度をつけて同一の場所の走査電子顕微鏡像を撮影し、ステレオ電子顕微鏡

写真による検討も試みた。

結 果

歯頸部エナメル質表面では、不規則な波状の、ほぼ平行に走る周波条が認められるが、その間隔は一定ではなく、幅にばらつきが見られた。周波条間には、エナメル小柱遊離端を思わせるほぼ同じ大きさの小陥凹が多く見られ、これは、周波条の歯冠部側で不明瞭となっていた (図1, 2)。陥凹のはっきりした部分を拡大してみると、陥凹はほぼ円形で、その直径は平均約 5~6 μm であった。小柱間質と思われる円形の陥凹の周囲は、堤状に隆起してみられた。その表面には、陥凹底部とその周囲の隆起部が同じように比較的滑沢に見える部分 (図3) や、陥凹底部は比較的粗造であるのに対し、その周囲の隆起部は滑沢に見える部分が認められた (図4)。また、陥凹内部に亀裂が見られるもの (図3, 4, 矢印) や、一部にはその中心が小丘状を呈しているもの (図3 三角印)、あるいは陥凹内部に顆粒状構造が見られるもの (図4 三角印) もあった。さらに周波条も小陥凹も不明瞭な場所も認められた (図5)。これらの部分の表面はかなり滑沢で、エナメル小柱遊離端に相当すると思われる部分は、多少陥凹して観察され、その部分にはかすかに皺が見られた (図6 矢印)。

エナメル小柱の方向に沿って凍結切断した試料では、エナメル小柱がエナメル質表面に対し、ほぼ垂直にエナメル質表面にまで達していた (図7)。さらに強拡大で見ると、一部に小柱構造が、表面近くやや不明瞭となっている所があり、周波条部を見ると、周波条は溝ではなく、落差により成ることがわかった (図8)。また別の場所では、エナメル小柱が表面まで達せず、表面近くにおいて無構造となり、一部に亀裂が見られた。この場合においても、周波条は落差により成ることに変わりはない (図9, 10)。いずれの場合も、表面の構造は平坦で、凹凸がはっきりせず、表面は薄膜により覆われているように見えた。

エナメル質表面の状態をより正確に把握する目的で撮影したステレオ電子顕微鏡写真によって、周波条は、覆瓦状の重なりにより構成されており、エナメル小柱遊離端と思われるところは、明らかに陥凹して観察された。そして、周波条間では、

覆瓦状の重なり部の低部にあたる側(すなわち歯冠部側)で、小陥凹が明確で、反対側では不明瞭であることが明らかとなった(図11, 12)。さらに、凍結断面では、周波条が溝ではなく、覆瓦状の重なりによる落差であることが確認された(図13)。

考 察

周波条 *perikymata* は、エナメル質の発育線であるレッチウスの線条 *striae of Retzius* がエナメル質の表面まで達したものである^{3) 4) 35)}。周波条の外形に関しては、歯冠側と歯頸側ではやや異なった像が見られ、歯冠側では比較的ゆるやかなスローブを描いたものが多く、歯頸側付近では屋根瓦状を示すものが多いとされている^{7) 13) 17) 32)}。加えて田本(1978)³³⁾は、歯頸部でも著名な周波条が観察されないで、周波条がゆるやかなスローブを描き、比較的平坦なものも多いと報告している。周波条は従来「溝」である^{3) 4) 22) 35)}といわれてきたが、著者らの行なった歯頸部における観察ではそうではなく、単なる落差にすぎないということが明らかとなった。そして、今まで「櫛状隆起」と言われてきた周波条間は、屋根瓦状の重なりにより成ることがステレオ電子顕微鏡写真により確認された。従って、櫛状隆起は少なくとも歯頸部においては「覆瓦状隆起」と呼ぶ方が適切であると考えられる。また、一部には顕著な周波条が観察されず、全体的に均一で平坦な場所も認められ、これは田本(1978)³³⁾の報告とも一致していた。

周波条間に見られた小陥凹については、エナメル小柱遊離端であろうと推察される。このことは、一般にエナメル小柱の直径の平均値が 4~5 μm で、エナメル質表層では約 6 μm になるという Fejerskov & Thylstrup (1979)³⁾ や Yaeger (1966)³⁵⁾ の報告からも肯首できる。

一方、同じ周波条間でも、小陥凹の見られなかった滑沢な部分や、凍結断面においてエナメル小柱がエナメル質表面近くで不明瞭となっていた部分、エナメル質表面まで小柱が達せず、表面近くで無構造となっていた部分は、無小柱エナメル質 *rodless enamel* (*prismless enamel*) であろうと思われた。エナメル質の表層や深層などには無小柱エナメル質が存在することは、古くから多くの研究者により報告されており^{4) ~ 6) 8) 13) 23) 29) 30) 34)}

³⁵⁾、ことに歯頸部には比較的多く出現するといわれている^{5) 23) 30) 34) 35)}。この無小柱エナメル質は、エナメル質の表層に最も多く認められ、その厚さは約 30 μm であるといわれる^{23) 29) 35)}が必ずしも一定していないらしい¹³⁾。そして、その存在位置についても、十分な記載がなされていない。田本(1978)³³⁾によれば、無小柱エナメル質はエナメル質表層に帯状に認められることが多く、歯頸部では他領域よりもエナメル質の厚さに対して無小柱エナメル質の占める範囲が一般に多く観察されるという。著者らの観察からも、周波条の歯冠側に帯状に無小柱エナメル質が認められ、凍結断面では、その厚さが一定でないことが確認されている。また寺崎ら(1958)³⁴⁾は、無小柱エナメル質とそれより深層にある小柱構造の認められる領域との境界に関して、著名な横紋ないしレッチウスの線条を境として小柱構造が消失していると述べている。が、このことについては、著者らの観察では明らかにできなかった。さらに、無小柱エナメル質の部分あるいはその近辺に見られた亀裂については、石灰化の違いによるものではないかと想像されるが、これも明らかにすることはできなかった。なお石灰化の程度については、金子(1959)⁹⁾、桐野(1962)¹¹⁾、桐野ら(1972)^{12) 13)}、小沢(1973)²⁰⁾、須賀(1976)³⁰⁾、田本(1978)³³⁾などの報告がある。

通常、エナメル質表面にはエナメル小皮 *enamel cuticle* (歯小皮 *cuticula dentis*) が存在する。エナメル小皮は、厚さ 1 μm ほどの均等性、無色の薄膜⁴⁾で、その表面は平滑な面を成しており、走査型電子顕微鏡で観察すると均一な構造を呈するという¹³⁾。著者らの観察において、周波条間が比較的滑沢に見られたこと、そして一部に顕著な周波条が観察されず、比較的平坦な構造が見られたことなどから、これらの表面にはエナメル小皮が存在しており、小陥凹内の亀裂あるいは顆粒状構造は、何らかの理由でこのエナメル小皮が剝離した部分ではないか、そしてこのエナメル小皮の存在のために、エナメル小柱遊離端と思われる小陥凹あるいは小柱間質の形態がはっきりしなかったものと考えられる。また、凍結断面における観察において、エナメル小柱が表面に達しているにもかかわらず、表面構造が不明瞭だったことも、これを裏付けているように思われる。

表1：Perikymata の解釈の相違

編著者・年	溝とするもの	隆起とするもの
正木 正 1934 ¹⁴⁾		瑛瑛質櫛状隆起
松井 隆弘 1949 ¹⁵⁾		瑛瑛質櫛状隆起
藤田恒太郎 1957 ⁴⁾	周 波 条	
松宮 誠一 他 1957 ¹⁶⁾		瑛瑛質櫛状隆起
Orban, B. J. 1957 ¹⁹⁾		slight elevations
Schour, I 1960 ²⁵⁾	Shallow grooves	
Provenza, D. V. 1964 ²²⁾	intervening shallow grooves	
加藤 勝治 1970 ¹⁰⁾	周 波 条	櫛 状 隆 起
Zelander, T. 1973 ¹⁷⁾		law ridges
Scott, J. H. & Symons, N. B. B. 1974 ²⁸⁾		transvers ridges
今西 市治 1975 ⁸⁾		周 波 条
立川 清 1976 ³¹⁾	周 波 条	櫛 状 隆 起
Fejerskov, O. & Thylstrup, A. 1979 ³⁾	distinct grooves	
Yaeger, J. A. 1980 ³⁵⁾	wavelike grooves	

[注] 佐藤運雄 (1935)²⁴⁾によると、瑛瑛質横線、歯牙横皺 (皺の誤植?) となっている。

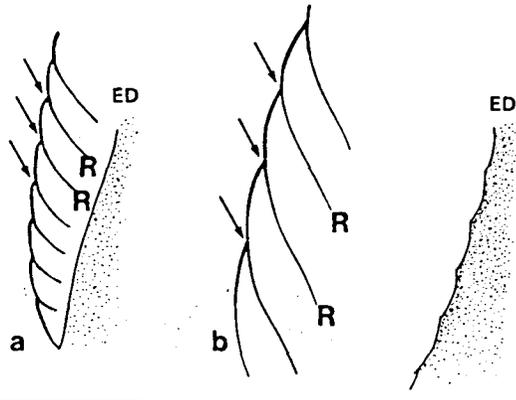
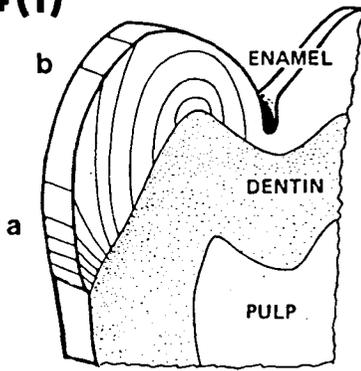
今回著者らは、エナメル質表面の状態を、より正確に把握する目的で、ステレオ電子顕微鏡写真による検討を試みた。走査型電子顕微鏡では、電子線の反射のとらえ方により試料表面の凹凸がまったく逆になる場合があるからである。そこで今回のように、凹凸の判断がポイントになる場合には、ステレオ写真によれば、凹凸の判断を正確に下すことができ効果的である。

以上、今回観察した歯頸部エナメル質表面の構造について述べたが、今後歯冠部における観察も含めて、さらに詳しい検討が必要であると思う。

最後に、著者らは、これまで Yaeger (1980)³⁵⁾の解釈によって周波条 perikymata を述べてきたが、冒頭において述べたように、perikymata はいわゆる凹み (著者らの結果では落差) を示すのか、あるいは隆起を示すのか、その解釈は成書により

様々である。そしてまた、本来は凹みを示す語が隆起を示す語の別名として併記されているような場合もある。そこで、著者らは主な成書の解釈をまとめてみた (表1)。表によれば、松井 (1949)¹⁵⁾、Scott & Symons (1974)²⁸⁾ および今西 (1975)⁸⁾ が perikymata を隆起部分と考えている。そしておもしろいことに、“Histology of the Human Tooth” という成書の Enamel の章は、Mjör & Pindborg が編集し Zelander (1973)³⁷⁾ が分担した初版では、perikymate を「隆起」としているが (図14(2))、Mjör & Fejerskov 編集で、Fejerskov & Thylstrup (1979)³⁾ が分担した第2版ではまったく逆の「溝」としている (図14(1))。これと同じことは、“Orban’s Oral Histology and Embryology” の場合にも見られ、第4版¹⁹⁾では隆起、第9版³⁵⁾では溝となっている。さらに藤田 (1976)⁴⁾も述

14(1)



(2)

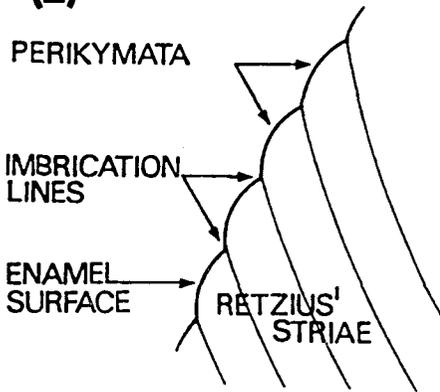


図14:

- (1)Retzius 線(R)とエナメル質表面の perikymata (矢印)との関係を示した模式図。(a): 歯頸部, (b): 中央部. perikymata は溝を示している. Fejerskov & Thylstrup(1979)³⁾より引用.
- (2)エナメル質表面における imbrication line および perikymata の模式図. perikymata は隆起を示している. Zelander(1973)²⁾より引用.

結 語

人の完全埋伏歯牙を用いて、歯頸部エナメル質表面の走査型電子顕微鏡による観察を行なった。

1. エナメル質表面は屋根瓦状を呈しており、周波条はその落差として認められた。このことはステレオ電子顕微鏡写真によっても確認された。
2. 凍結断面面において、無小柱エナメル質がエナメル質表面付近に存在している部分が見られた。
3. “perikymata” という言葉の解釈について、文献によりかなりの混乱があることが明らかになった。著者らは、perikymata は groove 溝(落差)を示すものとする。

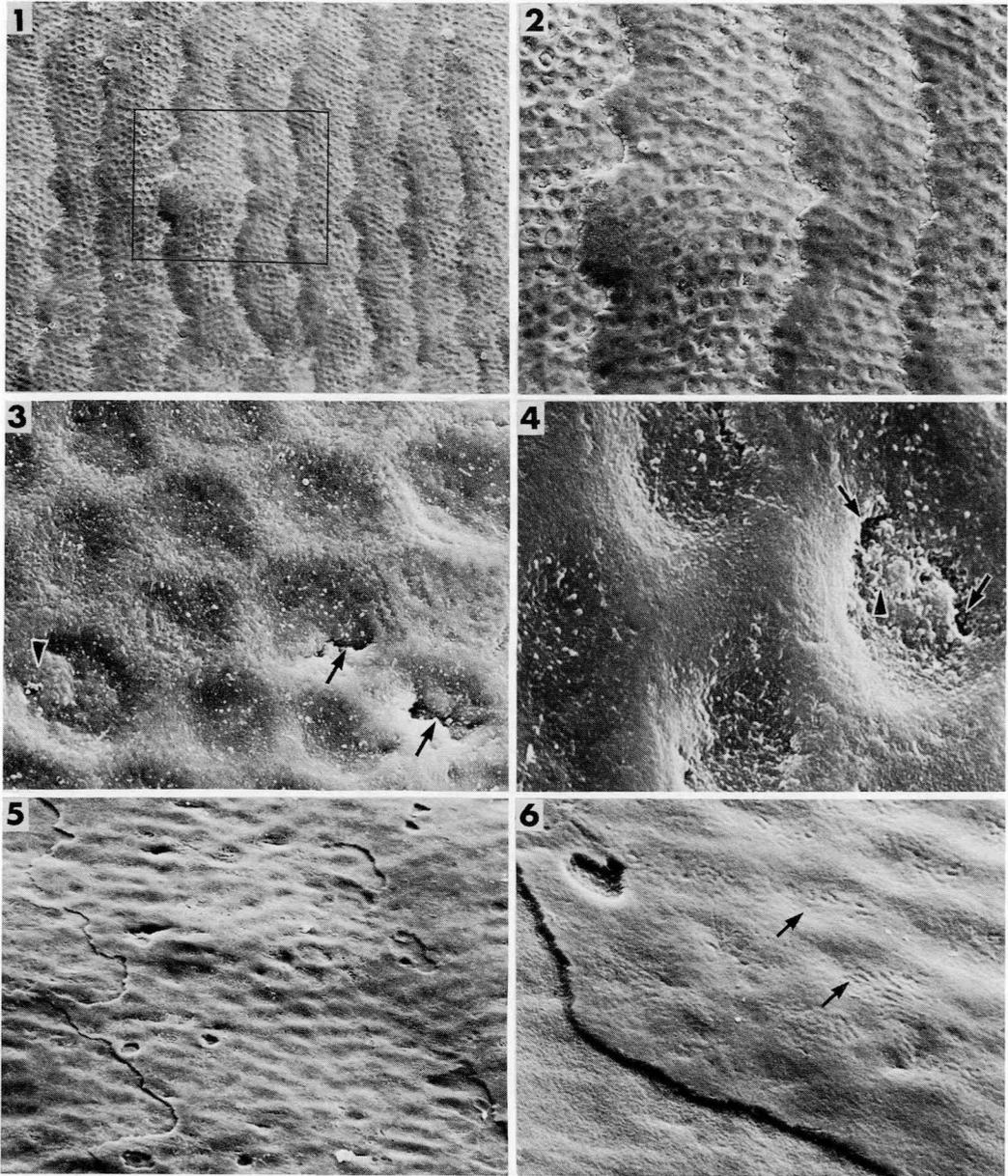
文 献

- 1) Boyde, A. (1971) Scanning electron microscopy of the completed enamel surface. Fearnhead, R. W. and Stack, M. V. ed. Tooth Enamel II. 39—42. John Wright & Sons Ltd. Bristol.
- 2) Boyde, A. (1972) Influence of normal and abnormal enamel structure on cavity margins. Brit. dent. J. 133: 421—427.
- 3) Fejerskov, O. and Thylstrup, A. (1979) Dental enamel. Mjör, I. A. and Fejerskov, O. ed. Histology of the Human Tooth. 2nd ed. 75—103. Munksgaard, Copenhagen.

べているように、隆起を表わす語と凹みを表わす語が同一のものとして併記されている場合がままある。本来、隆起という語は「盛り上がり」を意味し、線条(条)は「すじ」を意味すると思われるが、松井(1949)¹⁵⁾の場合には、ほうろう質線条(つまり周波条)の別名としてほうろう質櫛状隆起を挙げている。そして、加藤(1970)¹⁰⁾や立川(1976)³¹⁾も perikymata の訳語に周波条と櫛状隆起を併記している。なお、佐藤(1935)⁴⁾のように、溝とも隆起とも区別できない瑠璃質横線、歯牙横皺襞を挙げている場合もある。

以上のことから、周波条 perikymata をレッチウスの線条がエナメル質表面に達したものと考えれば、周波条は落差(従来の凹み)を示し、周波条間は覆瓦状隆起より成るという解釈が適切であると考えられる。そして、本来の意味に基づいて、定義づけをはっきりし、名称を統一することが必要と思われる。

- 4) 藤田恒太郎(1957) 歯の組織学. 第1版. 79—112. 医歯薬出版, 東京.
- 5) Gwinnett, A. J. (1967) The ultrastructure of the "Prismless" enamel of permanent human teeth. *Archs oral Biol.* 12: 381—387.
- 6) 平井五郎(1975) エナメル質齲蝕について—エナメル質の構造からのアプローチ—. 歯界展望, 46: 65—70.
- 7) Hoffman, S. (1972) Variations in surface resistance to enamel etching. *J. dent. Res.* 51: 795—799.
- 8) 今西市治(1975) 歯系組織学. 75—153. 金原出版, 東京.
- 9) 金子勝男(1959) 人の歯の低石灰化帯. 口病誌, 26: 1537—1557.
- 10) 加藤勝治編(1970) 医学英和大辞典. 第8版, 1158, 南山堂, 東京.
- 11) 桐野忠大(1962) 人の Enamel 質の低石灰化帯と過石灰化帯. 口腔衛生会誌, 12: 1—16.
- 12) 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(1972) 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.
- 13) 桐野忠大, 一條 尚, 小野 毅, 小沢幸重, 脇田 稔, 山下靖雄, 鈴木駿介, 後藤仁敏(1972) ヒトの歯の表面構造に関する走査電子顕微鏡的観察. (会) 口病誌, 39: 535—536.
- 14) 正木 正(1934) 歯牙組織学. 第1版, 6—9. 歯科学報社, 東京.
- 15) 松井隆弘(1949) 口腔組織学. 歯牙編. 初版, 3. 永末書店, 京都.
- 16) 松宮誠一, 松井隆弘, 田熊庄三郎(1957) 花沢鼎著 歯牙組織図説. 第3版, 東京歯科大学出版部, 東京.
- 17) Newman, H. N. and Poole, D. F. G. (1974) Observations with scanning and transmission electron microscopy on the structure of human surface enamel. *Archs oral Biol.* 19: 1135—1143.
- 18) 西嶋克己, 中原浩一(1972) 乳歯エナメル質の表面微細構造の走査電子顕微鏡による観察. 細胞, 4: 37—40.
- 19) Orban, B. J. ed. (1957) *Oral Histology and Embryology.* 4th ed. 55—107. The C. V. Mosby Co. St. Louis.
- 20) 小沢幸重(1973) エナメル質の低石灰化帯について. (会) 口病誌, 40: 42.
- 21) Poole, P. F. G. and Johnson, N. W. (1967) The effects of different demineralizing agents on human enamel surfaces studied by scanning electron microscopy. *Archs oral Biol.* 12: 1621—1634.
- 22) Provenza, D. V. (1964) Oral Histology Inheritance and development. 194—229. J. B. Lippincott Co., Philadelphia & Montreal.
- 23) Ripa, L. W., Gwinnett, A. J. and Buonocore, M. G. (1966) The "Prismless" outer layer of deciduous and permanent enamel. *Archs oral Biol.* 11: 41—48.
- 24) 佐藤運雄(1935) *Neues Zahnärztliches Lexikon Deutsch-Japanisch.* 第1版, 818. 日本大学出版部, 東京.
- 25) Schour, I. (1960) *Noyes' Oral Histology and Embryology.* 8th ed. 88—114. Lea & Febiger, Philadelphia.
- 26) Scott, D. B. and Wyckoff, R. W. G. (1949) Studies of tooth surface structure by optical and electron microscopy. *J. Amer. dent. Ass.* 39: 275—282.
- 27) Scott, D. B., Simmelink, J. W. and Nygaard, V. (1974) Structural aspects of dental caries. *J. dent. Res.* 53: 167—177.
- 28) Scott, J. H. and Symons, N. B. B. (1974) *Introduction to Dental Anatomy.* 7th ed. 188—207. Churchill Livingstone, Edinburgh and London.
- 29) Speirs, R. L. (1971) The nature of surface enamel in human teeth. *Calc. Tiss. Res.* 8:1—16.
- 30) 須賀昭一(1976) 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織. 須賀昭一, 石井俊文編. 齲蝕感受性 エナメル質表層の構造と組成. 5—42. 口腔保健協会, 東京.
- 31) 立川 清編(1976) 医語語源大辞典. 432. 国書刊行会, 東京.
- 32) 田熊庄三郎(1953) 人類歯牙組織の電子顕微鏡的研究(その一) レプリカ法による歯牙表面の光学顕微鏡的観察. (1), (完). 歯科学報, 53: 441—444, 479—482.
- 33) 田本寛光(1978) 歯頸部エナメル質の微細構造に関する観察. 口病誌, 45: 100—137.
- 34) 寺崎太郎, 塩田研次(1958) 成熟した人類歯牙エナメル質表層に見られる"無柱エナメル"について. 口科誌, 7: 55—59.
- 35) Yaeger, H. (1980) *Orban's Oral Histology and Embryology.* 9th ed. 46—106. The C. V. Mosby Co., St. Louis, Tront, London.
- 36) 山本 肇, 松田耕策, 佐藤勝彦, 大家 清(1976) エナメル質表層の微細構造と齲蝕感受性との関連について. 須賀昭一, 石井俊文編. 齲蝕感受性 エナメル質表層の構造と組成. 50—70. 口腔保健協会, 東京.
- 37) Zelander, T. (1973) The enamel. Mjör, I. A. and Pindborg, J. J. ed. *Histology of the Human Tooth.* 1st ed. 77—96. Munksgaard, Copenhagen.



- 図1：不規則な波状の周波条がほぼ平行に並んでいる。左側が歯冠方向。×170
- 図2：図1枠内の拡大像。周波条の左側に多数の小陥凹が見られる。右側では不明瞭となっている。×410
- 図3：小陥凹部の拡大像。小陥凹部とその周囲の堤状部がほぼ均質で比較的滑沢に見える。右下の小陥凹内部に亀裂（矢印）、左下の小陥凹内部には小丘状隆起（三角印）が見られる。×2,500
- 図4：別の小陥凹部の拡大像。小陥凹内部が比較的粗造に見える。左上及び右の小陥凹内部に亀裂（矢印）、右の小陥凹内部には顆粒状構造（三角印）が見られる。×4,300
- 図5：周波条が不明瞭な部分。小陥凹もやや不明瞭で、表面がかなり滑沢である。×690
- 図6：図5と同様な部分の拡大像。不明瞭な小陥凹部にかすかに皺（矢印）が認められる。×2,300

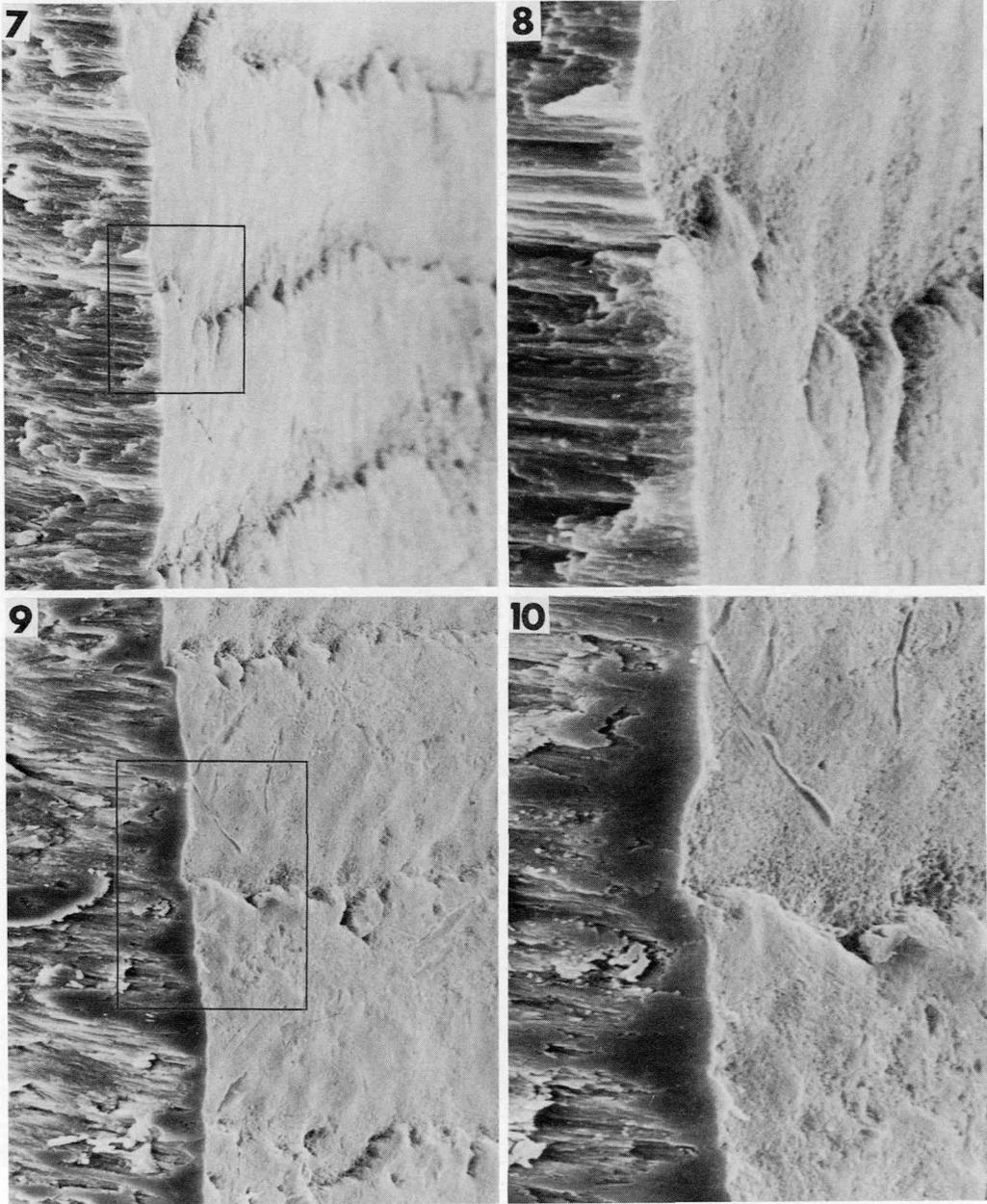


図7—10は、左側がエナメル小柱の方向に沿って凍結切断した面。上が歯冠部側。周波条はどの場合も落差により形成されている。また、エナメル質表面は平坦で凹凸が不明瞭である。

図7：エナメル小柱がエナメル質表面に対し垂直に走り、表面まで達している。×940

図8：図7枠内の拡大像。一部の小柱構造が表面近くで不明瞭となっている。×3,900

図9：エナメル小柱がエナメル質表面まで達せず、表面近くで無構造となっている。また部分的に亀裂が見られる。×1000

図10：図9枠内の拡大像。無構造な部分の厚さは一定でなく、頂点をエナメル質深層に向けた三角形の断面として見られる。×3,600

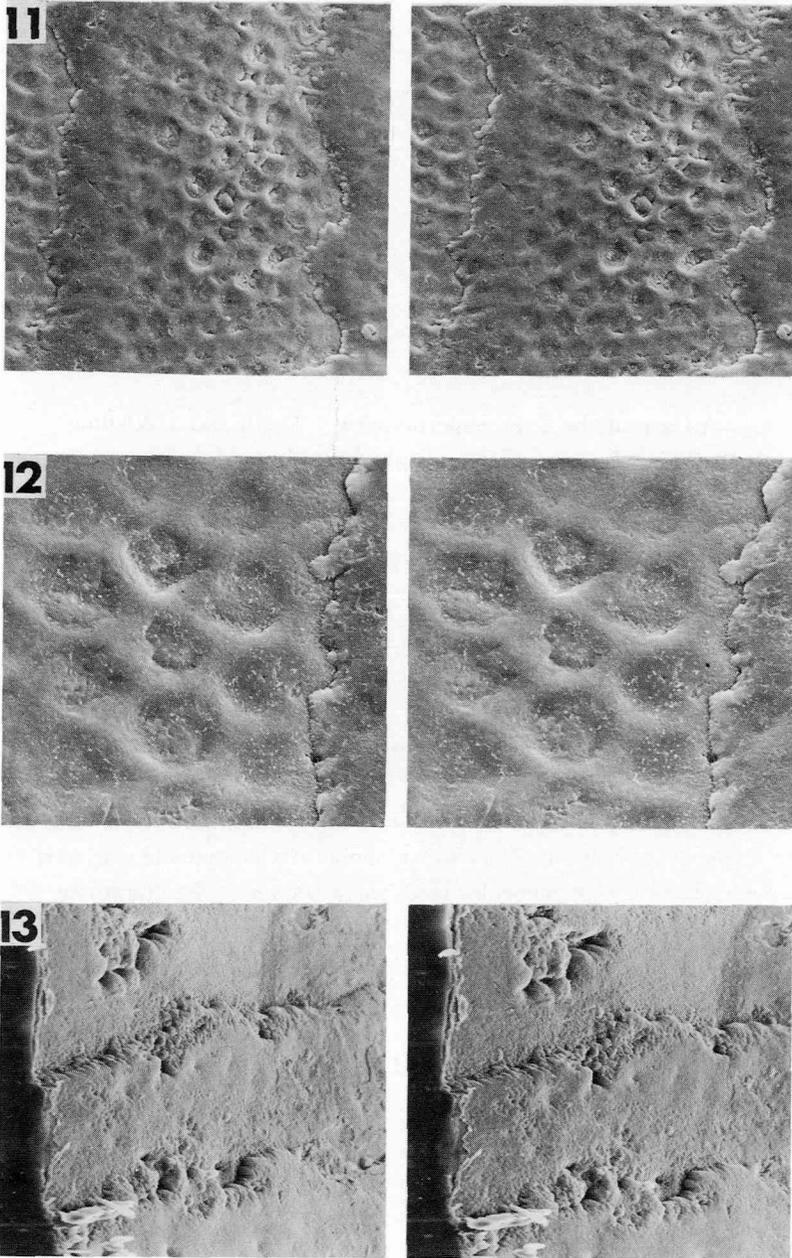


図11~13はステレオ電子顕微鏡写真.

- 図11：左側が歯冠側. 周波条の歯頸側が高く, 歯冠側が低く見られる. 歯頸側の小陥凹は明らかに陥凹として見え, 歯冠側は滑沢で無構造に見える. $\times 600$
- 図12：陥凹の拡大像. 陥凹内に更にかすかな凹凸が見られる. $\times 1,800$
- 図13：左側が凍結切断面. 右側がエナメル質表面. 周波条が明らかに落差であり, 屋根瓦状の重なりにより成ることがわかる. $\times 300$