

ナウマンゾウ臼歯の歯冠セメント質について

-エナメルセメント境の再検討-

Coronal Cementum in Molar of Naumann's Elephant (*Palaeoloxodon naumanni*)

-Review of cemento-enamel junction-

平山達也¹⁾, 鈴木久仁博²⁾

Tatsuya HIRAYAMA, Kunihiro SUZUKI

日本大学 松戸歯学部 組織学講座¹⁾

Department of Histology, Nihon University School of Dentistry at Matsudo

日本大学 松戸歯学部 口腔科学研究所²⁾

Research Institute of Oral Science, Nihon University School of Dentistry at Matsudo

(指導: 岡田裕之 教授)

Abstract

The coronal cementum develops in the molars of herbivores. Unlike other herbivores, the coronal cementum of equine and living elephants are irregular and characterized by numerous pits and invaginations in the cementoenamel junction (CEJ). In fossil proboscidean molars from several species of Elephantidae, including Naumann's elephant (*Palaeoloxodon naumanni*), and Stegodontidae, the coronal cementum between the enamel layers of the lamellae—termed as the “filling cementum”—was observed, and remarkable ruggedness in the CEJ was reported. Although the absorption of the enamel has been believed to be a factor in CEJ depressions, enamel disorders have been also considered to be a factor since around 1984, and recognized as a feature of proboscideans. In order to clarify the detail, the authors prepared a new materials from Naumann's elephant molars obtained from the 19th Nojiri-ko Excavation (2012), examined the morphology of the coronal cementum and the incremental line of the CEJ by light and electron microscopy, and researched the histological images from previous papers as evidence of the enamel disorders (not absorption). Incremental lines of enamel were interrupted by cementum penetrating at the curvature of the CEJ by both light and electron microscopy. From the image of the enamel, formation failure such as hypoplasia and calcification disorder was not obtained. There was little evidence in the literature that enamel hypomineralization was responsible for the complex irregularities of the CEJ morphology. As a result, it is clarified that the enamel disorders could not be confirmed in the coronal cementum (filling cementum) and the cause of the deep depressions and complicated invaginations of the CEJ in Naumann's elephant was the absorption of enamel.

はじめに

ナウマンゾウ (*Palaeoloxodon naumanni*) は日本の代表的な化石長鼻類であり日本列島の各地から産出し、長野県野尻湖からも多数の標本が報告されている。

ナウマンゾウの臼歯の咬頭は内部の象牙質とともに頬舌方向に伸びた板状を形成し（咬板）近遠心的に配列する。セメント質は歯根（歯根セメント質）とともに歯冠全体を覆い（歯冠セメント質）、咬板の間もセメント質によって完全に埋められる。咬耗が進むと咬合面には咬板のエナメル質の扁平な輪状構造（エナメル輪）が露出し、その内側は象牙質で満たされる。したがって、硬さの違う3つの組織が順番に層をなし、エナメル質は象牙質と接する面（エナメル象牙境・DEJ）とセメント質と接する面（エナメルセメント境・CEJ）をもつ。歯冠セメント質は歯冠表層を覆う冠周セメント質と咬頭間を満たす充填セメント質に区分され（村木, 1958）、歯根のセメント質は歯と歯槽骨をつなぐ歯根膜を支える機能が重要となるが、咬板間を埋める充填セメント質には咬合面を維持し強大な咀嚼力に抗するための接着の機能が求められる。本研究は充填セメント質のCEJの形態とその形成要因を再検討することが目的である。

・これまでの研究の歩み

現生長鼻類とウマの歯冠セメント質のCEJは他の草食動物と異なって不規則な陥凹を示し、エナメル質の吸収がその要因とされている（Kawai, 1955；村木, 1958；Sahara, 2014）。化石長鼻類のナウマンゾウの歯冠セメント質（充填セメント質）については小林ら（象団研グループ, 1968；小林, 1971；小林, 1985）が組織構造の詳細を報告し、CEJの形態は粗く複雑に湾入しているがこれはエナメル質の吸収によるものとしている。歯冠セメント質はステゴドン段階に始まり発達しエレファス段階で完成したとし、これらは長鼻類の森林型から草原型への生活の変化、顎骨や歯の大型化、垂直交換から水平交換への変化、萌出の遅れ、咬板の増加という一連の事象と相互に関係すると述べた（小林, 1985）。一方、長鼻類のCEJの湾入した形態の要因にはエナメル質の形成障害があるという見解（小沢・神谷, 1985；小林ら, 1991；小澤ら, 1993）が提出され、特にナウマンゾウを含むエレファス科のCEJは咬板間の結合組織による形成障害が主な要因であるとした（小林ら, 1991；小澤ら, 1993）。この仮説は組織構造（歯冠セメント質）の発達と形成要因の変換を長鼻類の系統発生（ステゴドン段階からエレファス段階）に結びつける試みといえる。これらの興味ある見解は「日本及び周辺地域の長鼻類化石の地質学的・古生物学的研究」（文部省科学研究費補助金・総合研究・課題番号58340048, 1983, 1984年度）の成果（1984年, 1985年）として発表され、同じ内容が1985年の化石研究会会誌・特別号2号「長鼻類の研究」にまとめられ、1991年の「日本の長鼻類化石」（亀井節夫編, 築地書館）に引継がれた。2005年の化石研究会会誌・38巻2号で「日本の長鼻類化石の研究はどこまで進んだか」が特集されたがセメント質に関する記述はなく、一連の仮説は定説化した感があった。

・本研究の共同研究者（鈴木）は小澤ら（1993）およびKozawa et al. (2005)の共著者であるが、エナメル質形成不全症（amelogenesis imperfecta）の研究からエナメル質の減形成や石灰化不全を生じる形成障害が、強固な結合を必要とする充填セメント質との嵌合を保てるのかという疑問が残りCEJの陥凹の原因としての形成障害説は再検討が必要であると考えていた。今回、第19次野尻湖発掘（2012年）で産出したナウマンゾウ臼歯の組織構造を精査する機会を得たので、新たな試料を用いて歯冠セメント質（充填セメント質）の

CEJの形態を精査した。加えて、エナメル質の形成障害（吸収ではない）とするこれまでの組織像が証拠として十分だったかを検証した。

材料と方法

野尻湖ナウマンゾウ博物館所蔵のナウマンゾウ (*Palaeoloxodon naumanni*) の上顎右側第三臼歯（標本番号: 19NIII n 10-13,14）の臼歯破片を使用した。咬板の破片から3つの硬組織(象牙質・エナメル質・セメント質)を含む領域を切り出して観察試料とした。試料の一部を研磨して薄片とし、光学顕微鏡 (C-200: ニコン) の観察に供した。試料の一部は樹脂包埋 (ポリエステル系冷間埋込樹脂: 丸本ストルアス) して研磨し実体顕微鏡 (SZ: オリンパス) での観察に供し、その後 1/20N HCl で 20-30 秒間エッチングし、金-パラジウム (Au-Pd) で蒸着後、走査電子顕微鏡 (加速電圧 10-25KV) (S-2700, S-3400N: 日立) で観察した。内部構造の観察のために X線 CT (管電圧 90KV, 管電流 200 μ A) (μ CT Cosmo Scan: リガク) を使用した。

結果

本臼歯標本は外周を覆う冠周セメント質が広く欠損していた。

咬合面は咬耗し、象牙質を取り囲むエナメル質 (エナメル輪) と 2 枚のエナメル質の間を埋めるセメント質 (充填セメント質) が観察された (図版 I-1)。エナメル質の厚さは褶曲の部位による違いがあるが 2.0- 3.0 mm であった。咬板の充填セメント質の剥離した自然面を拡大すると、エナメル質表面には不揃いな大きさの不規則な形状の瘤状の盛り上り (エナメル瘤) が多数観察され、表面の小さな陥凹をセメント質が満たしていた (図版 I-2)。切断面を実体顕微鏡で観察すると咬合面と平行な断面 (横断面) ではエナメル質が褶曲し (図版 I-3)、縦断面ではエナメル質は咬板の長軸に沿ってほぼ直線的に伸びていた (図版 I-5)。エナメル質の表層側 (充填セメント質側) 1/4-1/5 ほどは全長にわたって淡褐色に濁っていた (図版 I-3,4,5)。両断面ともにエナメル象牙境 (DEJ) は平坦な接触面を形成しエナメルセメント境 (CEJ) には複雑な陥凹が観察でき形状の違いが明瞭であった (図版 I-4,5)。CEJ の陥凹は白濁したエナメル質に入り込んでいた。CEJ 付近のセメント質には大小の亀裂が走り崩れやすい状態であった (図版 I-3,4,5)。CEJ の複雑な嵌合ではセメント質に挟まれたエナメル質の先端が盲管状になり、くびれる形状が観察された (図版 I-6)。

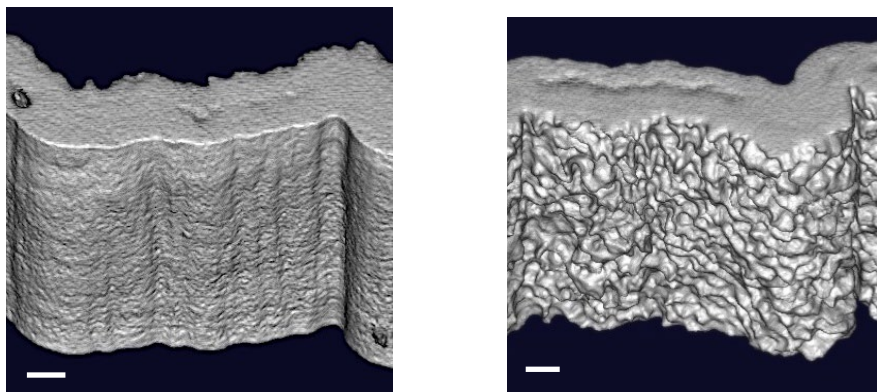
研磨標本の光学顕微鏡観察では、エナメル質の成長線 (レッチウス条) はエナメル質の湾曲に並行するように走向しているが CEJ の複雑な凹凸のある表層ではセメント質によって中断されていた (図版 II-7)。セメント質はセメント小体が豊富であり、また、セメント質にはセメント小体が同心円状に並ぶ構造が観察された (図版 II-8)。CEJ の陥凹部ではエナメル質の成長線は (対応する成長線を矢印で示す) セメント質によって連続性を失っていた (図版 II-9)。細かい凹凸部分を拡大すると、無小柱エナメル質部位では線条が不明瞭になるが成長線の湾曲は CEJ の形状に沿っていない (図版 II-10)。線条が CEJ の陥凹に沿って凹湾している (図版 II-11 の白矢印) ように見える部位の成長線も、拡大し精査すると明らかに連続性は途切れている (図版 II-12: 対応する線条を矢印で示す)。

走査電子顕微鏡 (SEM) の観察ではエナメル質の外層でエナメル小柱が斜断ないし横断像から縦断像に急変する部位 (図版 III-13: 矢印) が見られた。小柱の走行が変化したことを示すが、エナメル小柱の形態や幅、走向は揃っておりエナメル質構造に大きな乱れはない。接合部分を拡大すると (図版 III-14) 小柱構造は失われ無小柱エナメル質の形状を呈していたが構成する結晶は明瞭であった。CEJ の凹凸が大きい部位

(図版 III-15) でのエナメル質の成長線は貫入したセメント質によって成長線の連続性が中断されていた (図版 III-16) . 高倍率ではエナメル質とセメント質は細かい凹凸で噛み合っていることが分かった (図版 III-17) . エナメル質が半島状あるいは島状にセメント質によって取り囲まれている像が得られた (図版 III-18) .

マイクロ CT の三次元像ではエナメル質の 2 つの境界面の違いが明瞭になった . DEJ のエナメル質面には咬板の長軸に沿って様々な幅の隆線があり表面には弱い突起が波状に分布しているが (Fig. 1-左) , CEJ のエナメル質面には形状も大きさもさまざま異なる突起が不規則に配列し凹凸の際立った接合面を形成していた (Fig. 1-右) .

Fig. 1



考察

本臼歯標本は立ガ鼻砂部層の 44,000 年以上前の地層 (T2 or T3) から産出し, その形状と大きさ, 咬板数からナウマンゾウの上顎右側第三大臼歯と記載された (野尻湖哺乳類グループ, 2014) . ナウマンゾウの臼歯は歯冠全体がセメント質によって覆われている (歯冠セメント質) が, 本標本では歯冠の冠周セメント質は失われ, 咬板間の充填セメント質のみが露出していた.

A. 歯冠セメント質

歯冠セメント質は歯冠表層を覆う冠周セメント質と咬頭間を満たす充填セメント質に区分され (村木, 1958) , アジアゾウでは冠周セメント質の構造は歯根セメント質と類似しシャープ線維を含み, 充填セメント質は必ず細胞性で血管が分布しシャープ線維を欠くことなどに違いがあるとされている (村木, 1958) . 本標本の実体顕微鏡および光学顕微鏡によるナウマンゾウ臼歯の観察でも充填セメント質は豊富な血管系を含む有細胞セメント質であり, セメント小腔の配列から一部は層板構造を持つものと考えられる (図版 II-8) .

歯冠セメント質は現生長鼻類 (Kawai, 1955 ; 村木, 1958) と草食動物 (ヒツジ: Weinreb and Sharav, 1964. ウシ: Ainamo, 1970; Mills and Irving, 1967; Listgarten, 1968. ウマ: Kawai, 1955; 村木, 1958; Jones and Boyde, 1974; Kilic et al., 1997. げっ歯類: 村木, 1958; Hunt, 1959; Bernick, 1966; Listgarten and Shapiro, 1974; Moriyama et al., 2006. ウサギ: 村木, 1958; Listgarten and Kamin, 1969. カバ: 鈴木・小沢, 1996) での研究がある. 中でも, 現生長鼻類とウマの歯冠セメント質の CEJ は他の草食動物と異なって不規則な陥凹を示し, エナメル質の吸収がその要因とされている (Kawai, 1955 ; 村木, 1958 ; Sahara, 2014) .

B. CEJ の形態

ナウマンゾウの歯冠セメント質についても CEJ の入り組んだ形態が報告されている (小沢・神谷, 1985 ; 小林ら, 1991 ; 小澤ら, 1993 ; 神谷, 2005) . 本研究でも破損面に現れたエナメル質表面には先端にセメント質がつまった不規則な突起 (図版 I-2) や, 咬板切断面に CEJ の複雑な陥凹が実体顕微鏡で観察された (図版 I-4,5,6) . マイクロ CT でも CEJ の接合面の広い範囲に渡って大小の不規則な凹凸の三次元像が得られ DEJ と CEJ の違いは明瞭である (Fig.1) . エナメル質の凹凸は大きく形状も不規則であり成長線また, セメント質がエナメル質を巻き込むような像 (図版 I-6) は電子顕微鏡による CEJ の拡大でも確認され, エナメル小柱の径以下のより微小な陥凹像も観察された (図版 III-17,18) . CEJ の接合面のエナメル質とセメント質は複雑な嵌合を形成し強固な接合を維持していると考えられる. ナウマンゾウの食性にとって上下顎臼歯の擦り合わせが重要な運動であり多数の咬板に圧縮力と引張り力がかかるとすれば, CEJ の複雑な嵌合形態は隣接する咬板を繋ぎ止める役割りを物理的に担っていると考えられる.

その他の化石長鼻類の CEJ の形態についてはステゴドン科のトウヨウゾウ *Stegodon orientalis*, エレファントイデスゾウ *Stegodon elephantoides*, アカシゾウ *Stegodon akashiensis*, スギヤマゾウ *Stegodon sugiyamai*, パラステゴドン *Parastegodon* sp. とエレファス科のケナガマンモス *Mammuthus primigenius* (小林, 1984 ; 小沢・神谷, 1985 ; 小林, 1985 ; 小林ら, 1991 ; 小澤ら, 1993 ; 神谷, 2005) , メリジオナリスゾウ *Mammuthus meridionalis* (Ferretti, 2003) で観察されている. 歯冠セメント質が咬板間を薄く覆う程度のトウヨウゾウを除けば (小林, 1984 ; 小沢・神谷, 1985) , エレファントイデスゾウ, アカシゾウ, スギヤマゾウ, ケナガマンモス, パラステゴドンで CEJ の入り組んだ形態が観察され (小沢・神谷, 1985 ; 小林・小澤・神谷, 1991) , メリジオナリスゾウ (Ferretti, 2003) でも顕著な凹凸が報告されている. 従って, 現生と化石を含めた長鼻類の歯冠セメント質における CEJ の形態は陥凹のあることが特徴である.

C. 陥凹の形成要因

CEJ に凹凸を生じる要因として, 多くの先行研究ではエナメル質が全層近くまで形成された後にエナメル質表面が吸収を受け, そこにセメント質が形成・沈着する様式が提唱されている. この場合はエナメル質には吸収による陥凹 (ハウシツ窩) が形成されてエナメル質の成長線はそこで中断されることになる. ウマの歯冠セメント質については TRAP 陽性細胞 (破歯細胞) によるエナメル質の吸収がセメント質の沈着に先行して確認されたとする組織化学的研究が報告されている (Sahara, 2014).

本研究におけるナウマンゾウのエナメル質の成長線 (レッチウス条) はエナメル質深層での DEJ に並行するような配列から表層の CEJ の褶曲に沿うような配列に変化する像が得られた. 従って本来のエナメル質表面の起伏のある形状が想像され, 起伏の辺縁で成長線が収斂するように連続すれば形成後に変化がなかったことを示す. しかし, 実際にはセメント質との滑らかな境界を持つ部位は非常に少なく, CEJ 接合面のエナメル質の突出した部分では輪郭に沿ったレッチウス条は観察されず, 陥凹部分ではレッチウス条がセメント質によって分断されている像が示された (図版 II-9,10) . 線条が陥凹を取り巻くように見える部位を検索し精査したが連続性は示されなかった (図版 II-11,12) . 走査電子顕微鏡による観察でも成長線が中断される像 (図版 III-15) が得られることから, エナメル質の吸収が複雑な CEJ 形態の成因であることを示している. 吸収の影響は微細な陥凹部位にも見られる (図版 III-15,16,18) .

他方, CEJ に凹凸を生じる要因としてエナメル質がその形成過程で障害を受けたことによる不均衡な凹凸にセメント質が沈着する見解 (小沢・神谷, 1985; 小林ら, 1991; 小澤ら, 1993) について, 本研究におい

て低倍率では CEJ の成長線が連続するように見える陥凹部分を拡大像で精査したが、図版 II-9,10 の例のようにエナメル質の外形に沿って連続した成長線を確認することはできなかった。

次にエナメル質の形成障害を要因とする論文中の組織像の成長線がエナメル質表面の凹凸に沿って連続するか否かを検討した。ナウマンゾウの CEJ の組織像（小沢・神谷，1985 の Figs.5,6；小林ら，1991 の図 4-47,48）の 2 枚の同倍率（100x）としている写真は、大きな陥凹は形成障害を示す像（小沢・神谷，1985 の Fig. 5；小林ら，1991 の図 4-47）とし、細かい凹凸をハウシツ窩（小沢・神谷，1985 の Fig. 6；小林ら，1991 の図 4-48）として並べられている。しかし実際には、形成障害とされる図版はセメント質中の脈管の径の比較などからハウシツ窩の写真が高倍率に引き伸ばされた像と考えられる（本文 Fig. 2 を参照）。

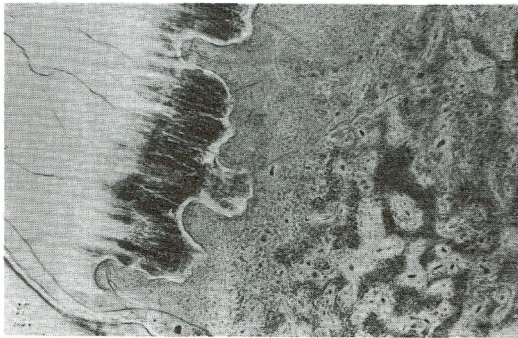


図 4-47 ナウマンゾウの歯冠セメント質
左側のエナメル質の表面は形成障害による凹凸があり、右側の歯冠セメント質は骨単位状の構造を示す。(100 倍)

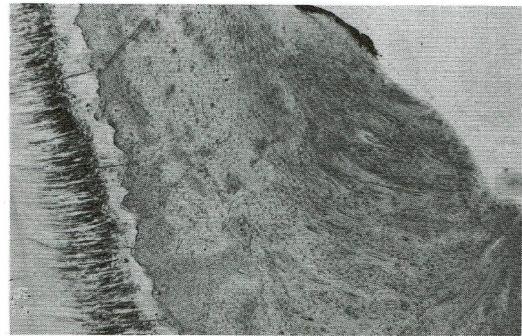


図 4-48 ナウマンゾウの歯冠セメント質
左側のエナメル質表面の凹凸はハウシツ窩であり、エナメル質表面の吸収の後、右の歯冠セメント質が形成された。(100 倍)

同じ図版は別の論文（小澤ら，1993 の Fig. 2）でも掲載され、「エナメル質表面は凹凸を示しこれに沿う成長線が認められる。このことは、エナメル質が凹凸に形成されることを意味している」と記述されている。しかし、写真の示す成長線（レッチウス条）の走向はエナメル質表面の形態とは一致せず陥凹部では中断されるため形成障害を示す証拠にならない。更に同じ写真を掲載した論文（Kozawa et al., 2005 の Fig. 7）では部分的に吸収窩が観察されるとしているが形成障害との像の違いは示されていない。

その他の報告を検討すると、スギヤマゾウの CEJ の図版（小沢・神谷，1985 の Fig.3；小林ら，1991 の図 4-44）では、レッチウス条は明瞭で数個の陥凹によって中断されている。また、パラステゴドン の CEJ の図版（小沢・神谷，1985 の Fig. 4；小林ら，1991 の図 4-45）では凹凸の一部だけが示されレッチウス条の連続性は不明である。また、マンモスゾウ (*Mammuthus primigenius*) は咬板間を充填したセメント質全体の写真（小林ら，1991 の図 4-50）から CEJ の陥凹形態がわかるだけであるが、「深く湾入しエナメル質の吸収窩が認められる」と記述されている。アジアゾウ (*Elephas maximus*) は写真が示されず「エナメル質の表面は吸収窩の凹凸が激しく、吸収されたことを示している」と記述されている。形成障害の証左としてアフリカゾウ (*Loxodonta africana*) の形成途中とされるエナメル質表面の写真（小沢・神谷，1985 の Fig.7,8；小林ら，1991 の図 4-52,53；Kozawa et al., 2005 の Fig.7）が掲載されているが、凹凸の組織像が示されないために成長線との関係は判断できない（同じ写真を他の論文（小澤ら，1993 の Figs. 3,4）では *Elephas maximus* のものとしている）。したがって、文献的な検討からもエナメル質の形成障害が CEJ 形態の複雑な凹凸の要因とする証拠は希薄である。

一方、アジアゾウ (*Elephas maximus*) のエナメル質外層（セメント質側）の白濁した層が X 線ラジオマイクログラムによる低石灰化域と一部重なるとしてヒトのエナメル質う蝕の白斑病変（青葉，2015）と関係付け（奥田ら，1982），エレファス段階の CEJ の凹凸がエナメル質の形成障害と吸収によることが特徴として

いる（小沢・神谷，1985）．しかし，試料の CEJ の組織像や低石灰化域との十分な対比はなされていない．本研究では石灰化の程度は調べていないが，形態的には白濁部分はエナメル小柱の走行の変化した部位に対応すると考えられ(図版 I-3,4,5；図版 II-7)，エナメル質に形態の乱れや粗造な部位は観察されていない(図版 II-7,8,9)．

エナメル質の形成障害は形成細胞（エナメル芽細胞）が発生過程で障害を受けてエナメル質の減形成や石灰化不全をきたす異常である（Fig.3）（Boyde, 1970; 松根ら, 2005; Suzuki et al., 2006; Witkop, 1989; Wright, 1995）．CEJ の形状とエナメル質－セメント質の接合の強さに関する研究では，陥凹のある複雑な CEJ の形状をもつウマ類歯は滑らかな CEJ をもつウシ類歯に比較して 7 倍の接合強度を持つ事を実験的に示している（Wang et al., 2006）．形成障害を生じたエナメル質は咀嚼に対する耐性と充填セメント質との嵌合における接合強度の側面からも疑問がある．

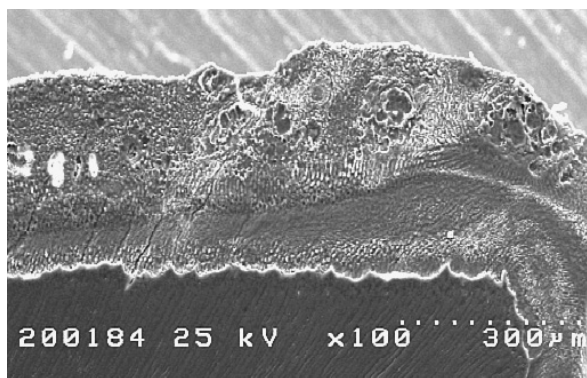


Fig. 3

本研究においてナウマンゾウ臼歯のエナメル質には形成障害による構造変化は認められず，成長線の精査から歯冠セメント質（充填セメント質）における CEJ の複雑な形態はエナメル質の吸収によるものであると結論づけられる．また，これまで報告されたナウマンゾウを含む長鼻類の歯冠セメント質における CEJ の再検討からも，エナメル質の形成障害（不全）による陥凹を示す組織像は確認できなかった．

D. まとめと課題

これまでの報告では，長鼻類（ナウマンゾウを例に）のエナメル質表面にはハウシツ窩状の吸収痕が少なく(小沢・神谷,1985)，長鼻類特有の様式としてエナメル質の形成障害に伴う歯冠セメント質の発達（小林ら，1991）があり，マンモス，ナウマンゾウ，アフリカゾウ，アジアゾウなどでは CEJ の陥凹は主に形成障害によるものであり吸収によるものは歯頸部などごく一部に限られる（小澤ら，1993）とされた．そして歯冠セメント質の形成様式を長鼻類の進化段階と重ね合わせ，ステゴドン科において歯冠セメント質が発達しその過程でエナメル質の吸収に形成障害が加わり，エレファス科になると形成障害が主因となるとする見解（小林ら，1991; 小澤ら，1993）に発展した．更にこれは長鼻類の臼歯エナメル質がエレファス段階で薄くなることの説明（小沢，1985）となって定着し現在に至っている．しかしこの仮説には証拠となる観察データの検証が必要であった．本試料でのエナメル厚は 2.0-3.0 mm ほどで CEJ 全面に吸収による凹凸があり（Fig. 1），小沢・神谷(1985) はエナメル質全層の 1/4- 1/3 が吸収と形成障害を受けるとしているが，本研究では特に深い陥凹は CEJ から白濁層の半分ほど (500- 700 µm) であった(図版 I-3,4,5; 図版 II-7)．連続した成長線の追跡が困難なため完成時のエナメル質表面の形状や吸収の程度は十分に解明できないまでも，組織像からはエナメル質の形成障害（不全）は認められず正常につくられたと判断できる．更に歯冠セメント

質の発達とエナメル質の厚さの減少を組織構造の変化と系統発生（ステゴドン段階からエレファス段階へという捉え方の当否もある）との対応関係に当てはめることについては事実を踏まえて慎重に議論する必要がある。

謝辞

本研究にあたり、ナウマンゾウ臼歯の貴重な発掘試料を提供していただいた野尻湖ナウマンゾウ博物館に感謝いたします。野尻湖発掘調査団哺乳類グループの間島信男氏からは貴重なご意見をいただきました。査読者からいただいた多くのご指摘に感謝いたします。様々な面で援助をいただいた日本大学松戸歯学部組織学講座ならびに教養学（生物学）講座の皆様にご礼申し上げます。

文献

- Ainamo, J., 1970, Morphogenetic and functional characteristics of coronal cementum in bovine molars. *Scand J Dent Res*, 78, 378–386.
- 青葉孝昭, 2015, 齧蝕. In 下野正基, 高田隆. 新口腔病理学, 32-49, 医歯薬出版, 東京.
- Blackwood, H.J.J., 1958, Resorption of enamel and dentine in the unerupted tooth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 11, 79–85.
- Bernick, S., 1966, Vascular and nerve supply to the molar teeth of guinea pigs. *J Dent Res*, 45, 249–260.
- Boyde, A., Lester K.S., 1967, Electron microscopy of resorbing surfaces of dental hard tissue. *Z Zellforsch*, 83, 538–548.
- Boyde, A., 1970, The surface of the enamel in human hypoplastic teeth. *Archs oral Biol*, 15, 897–898.
- Burk, A., Castanet, J., 1995, Histological observations of cementum growth in horse teeth and their application of archaeology. *J Archaeol Sci*, 22, 479–493.
- Ferretti M.P., 2003, Structure and evolution of mammoth molar enamel. *Acta Palaeontol Pol*, 48, 383–396.
- Hunt, A.M., 1959, A description of the molar teeth and investing tissues of normal guinea pig. *J Dent Res*, 38, 216–231.
- Jones, S.J., Boyde, A., 1974, Coronal cementogenesis in the horse. *Arch Oral Biol*, 19, 605–614.
- 神谷英利, 2005, 長鼻類化石と微細構造（概要）. 化石研究会会誌, 38, 126–134.
- Kawai, N., 1955, Comparative anatomy of the bands of Schreger. *Okajimas Fol Anat Jpn*, 27, 115–131.
- Kilic, S., Dixon, P.M., Kempson, S.A., 1997, A light microscopic and- structural examination of calcified tissues of horses 4. Cement and the amelocemental junction. *Equine Vet J*, 29, 213–219.
- 小林巖雄, 1971, 日本海海底産ナウマン象の臼歯セメント質の組織構造. 地質学雑誌, 77, 723–729.
- 小林巖雄, 1984, 東洋像の臼歯化石におけるセメント質組織の形態. 長鼻類の研究—日本及び周辺地域の長鼻類化石の地質学的・古生物学的研究—, 昭和 58 年度文部省科学研究費補助金 総合研究(A) 報告書, 37–41.
- 小林巖雄, 1985, 長鼻類臼歯におけるセメント質組織の構造. 化石研究会会誌, 特別号, 2, 58–62.
- 小林巖雄・小澤幸重・神谷英利, 1991, セメント質. In 亀井節夫, 日本の長鼻類化石, 203–209, 築地書館, 東京.
- 小沢幸重, 1985, 長鼻類のエナメル組織の進化. 化石研究会会誌, 特別号, 2, 45–50.
- 小沢幸重・神谷英利, 1985, 長鼻類における歯冠セメント質の発達. 化石研究会会誌, 特別号, 2, 54–57.

- 小澤幸重・神谷英利・高木弘雄・鈴木久仁博・三島弘幸・久貫由里代・寒河江登志朗・平山勝
憲・赤石茂・杉田和美, 1993, ゾウの臼歯歯冠セメント質の形成について. 日大口腔科学, 19,
52-56.
- Kozawa, Y., Chisaka, H., Iwasa, Y., Yokota, R., Suzuki, K., Yamamoto, H., 2005, Origin and Evolution of Cementum as
Tooth Attachment Complex. *J Oral Biosci*, 47, 25-32.
- Kronfeld, R., 1938, Coronal cementum and coronal resorption. *J Dent Res*, 18, 151-159.
- Listgarten, M.A., 1968, A light and electron microscopic study of coronal cementogenesis. *Arch Oral Biol*, 13, 93-114.
- Listgarten, M.A., Kamin, A., 1969, The development of a cementum layer over the enamel surface of rabbit molars-A
light and electron microscopic study. *Arch Oral Biol*, 14, 961-985.
- Listgarten, M.A., Shapiro I., M., 1974, Fine structure and a composition of coronal cementum in guinea-pig molars. *Arch
Oral Biol*, 19, 679-696.
- 松根健介, 宇治川玲子, 三好克実, 松永利恵, 鈴木久仁博, 前田隆秀, 2005, エナメル質形成不全症に認め
られた過剰歯の一例. 小児歯科学雑誌, 43, 107-112.
- Mills, P.B., Irving J.T., 1967, Coronal cementogenesis in cattle. *Arch Oral Biol*, 12, 929-931.
- Moriyama, K., Sahara, N., Kageyama, T., Misawa, Y., Hosoya, A., Ozawa, H., 2006, Scanning electron microscopy of
the three different types of cementum in the molar teeth of the guinea pig. *Arch Oral Biol*, 51, 439-448.
- 村木彌一郎, 1958, 哺乳類の歯に於けるセメント質の比較解剖学的研究. 解剖学雑誌, 33, 583-611.
- 野尻湖哺乳類グループ, 2014, 第19次野尻湖発掘地の成果およびIII区F列の脊椎動物化石について. 野尻湖ナ
ウマンゾウ博物館研究報告, 22, 51-64.
- 奥田綾子, 石井さと美, 小澤幸重, 1982, ゾウ (*Elephas maximus* Linne) の第2大臼歯のエナメル質表層に認
められた低石灰化像について. 日大口腔科学, 8, 232-236.
- Sahara, N., 2014, Development of coronal cementum in hypsodont horse cheek teeth. *The Anatomical Record*, 297, 716-
730.
- 鈴木久仁博, 小澤幸重, 1996, カバ科臼歯の組織構造について-Hippopotamus と Hexaprotodon のエナメル質
とセメント質を中心に-, 化石研究会会誌, 29, 10-15.
- Suzuki, K., Matsune, K., Kozawa, Y., 2006, Histological observation of impacted supernumerary teeth in a patient with
amelogenesis imperfecta. *Archives of Comparative Biology of Tooth Enamel*, 10, 4-6.
- Wang, R., Hu, Y., Ng, C., 2006, Microstructure and interfacial fracture at the cementum-enamel junctions in equine and
bovine teeth. *J Mater Res*, 21, 2146-2155.
- Weinreb, M.X., Sharav, Y., 1964, Tooth development in sheep. *Am J Vet Res*, 25, 891-908.
- Witkop, C.J.Jr., 1989, Amelogenesis imperfecta, dentinogenesis imperfecta and dentindysplasia revisited: problems in
classification. *J oral pathol*, 17, 547-553.
- Wright, J.T., 1995, *Hereditary defects of enamel*. In: Dental Enamel Formation to Destruction. Eds. Robinson, C.,
Kirkham, J., Shore, R., CRC Press. Boca Raton, USA, p.193-222
- 象団研グループ, 1968, ナウマン象 (*Elephas naumanni* MAKIYAMA) の歯牙の組織学的・生化学的研究
(その1). 化石研究会会誌, 1, 35-75

図版説明 1

図版 I 標本・試料

- 1 ナウマンゾウ (*Palaeoloxodon naumanni*) 上顎右側第3大臼歯 咬合面
(標本番号: 19NIIIIn 10-13,14) (スケール: 5 cm)
C: セメント質 D: 象牙質 E: エナメル質
- 2 歯冠セメント質の剥離によるエナメルセメント境 (CEJ) の自然面
C: セメント質 E: エナメル質 (スケール: 1 mm)
- 3 咬板 横断面
C: セメント質 D: 象牙質 E: エナメル質 (スケール: 10 mm)
- 4 咬板 横断面 CEJ 拡大
C: セメント質 D: 象牙質 E: エナメル質 (スケール: 1 mm)
- 5 咬板 縦断面 CEJ 拡大
C: セメント質 D: 象牙質 E: エナメル質 (スケール: 1 mm)
- 6 咬板 縦断面 エナメル突起
C: セメント質 D: 象牙質 E: エナメル質 (スケール: 100 μm)
矢印はエナメル質の狭窄を示す

図版 II 研磨切片光顕像

- 7 湾曲部の CEJ の形態 光顕像
C: セメント質 E: エナメル質 (スケール: 200 μm)
- 8 CEJ 光顕像
エナメル質の成長線. 連続する成長線を向合う矢印が示す.
(スケール: 100 μm)
- 9 湾曲部の CEJ 光顕像
エナメル質の連続する成長線を向合う矢印が示す (スケール: 100 μm)
- 10 同心円状のセメント小体の配列 (スケール: 50 μm)
- 11 エナメル質の陥凹に沿って湾曲する成長線
矢印は成長線を示す (スケール: 100 μm)
- 12 11 の拡大像
エナメル質の連続する成長線を向合う矢印が示す (スケール: 20 μm)

図版説明 2

図版 III 走査電顕 (SEM) 像

- 13 ECJ 付近のエナメル質の形態
C: セメント質
矢印: エナメル質外層でエナメル小柱の走向が大きく変わる位置
- 14 陥凹部位の ECJ の形態
C: セメント質 E: エナメル質
- 15 エナメル質の成長線
連続する成長線を向合う矢印が示す.
- 16 鋸歯状の ECJ の拡大
C: セメント質 E: エナメル質
- 17 複雑な陥凹部位
矢印はエナメル質. C: セメント質 E: エナメル質
- 18 セメント質に取り込まれたようなエナメル質 (図 17 の拡大)
C: セメント質 E: エナメル質

図の説明

図 1 ナウマンゾウの咬板エナメル質の境界面 (μ CT 像)

左: エナメル象牙境 (DEJ) 右: エナメルセメント境 (CEJ) (スケール: 1mm)

図 2 ナウマンゾウ CEJ の写真 (小林ら, 1991 から)

左: 形成障害による陥凹とされる 右: 吸収による陥凹とされる

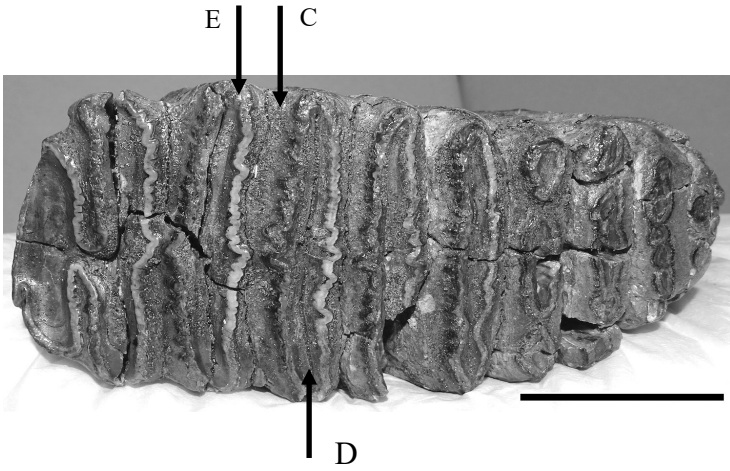
実際の左像は右像よりも高倍率. 左像で確認される成長線はエナメル質の陥凹によって分断されている. 右像は低倍率での広域の吸収像を示している.

図 3 エナメル質形成障害の例 (Suzuki et al, 2006 から)

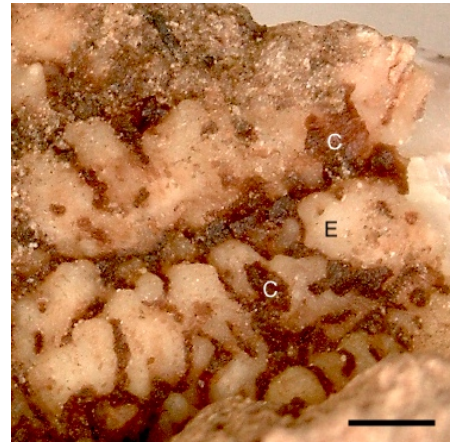
左: エナメル質形成不全症 (ヒト乳歯) 右: 正常なエナメル質 (ヒト乳歯)

エナメル質の厚さは不規則で組織構造は粗造である. エナメル小柱の走行・配列も不規則で不明瞭な部位もあり, 大小の陥凹や不規則な線条がみられる. シュレーゲル条はみられず成長線も判別できない.

图版 I



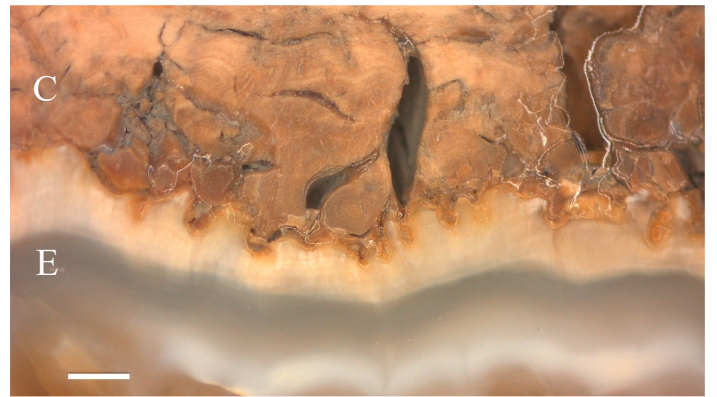
1



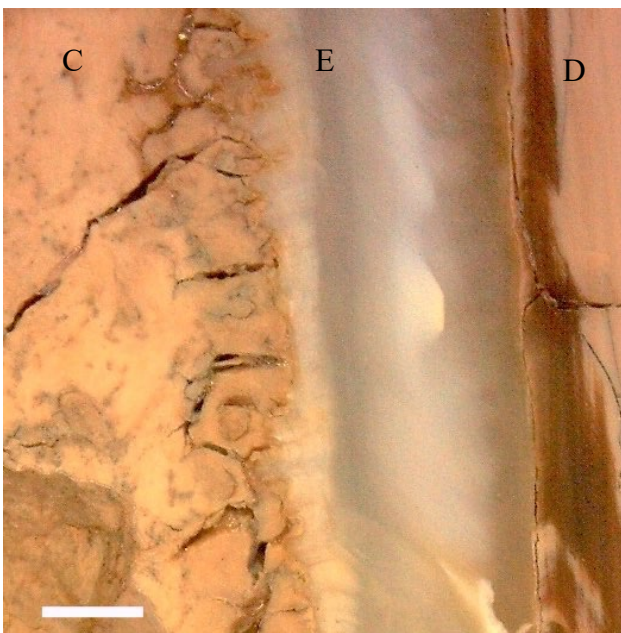
2



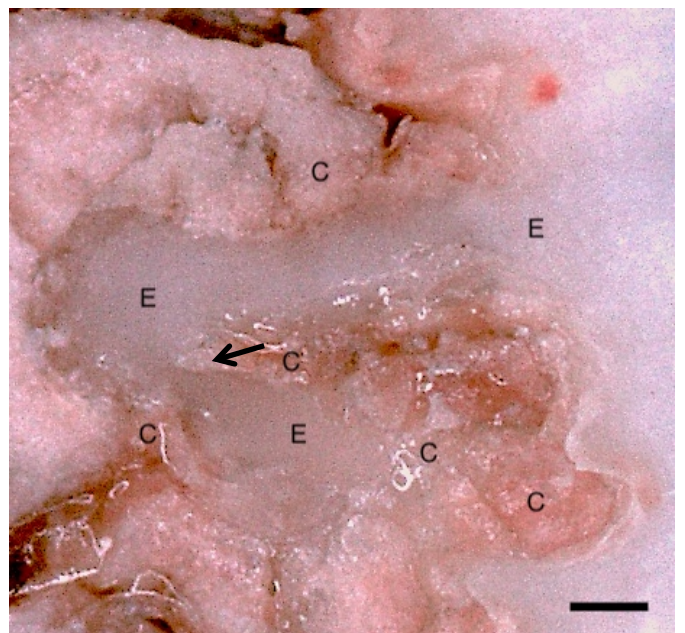
3



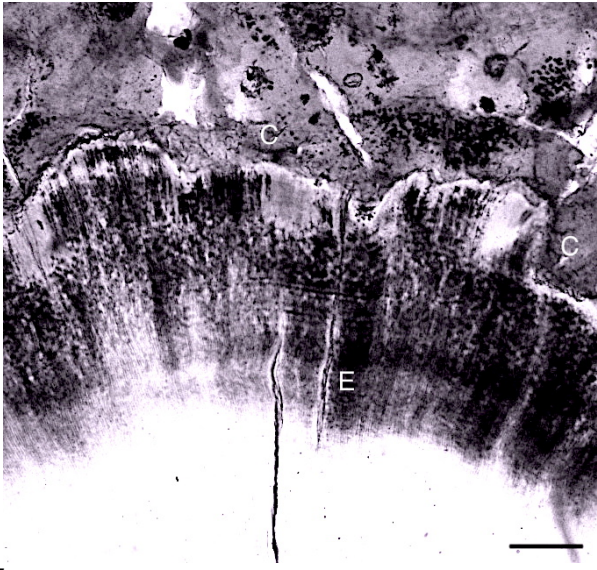
4



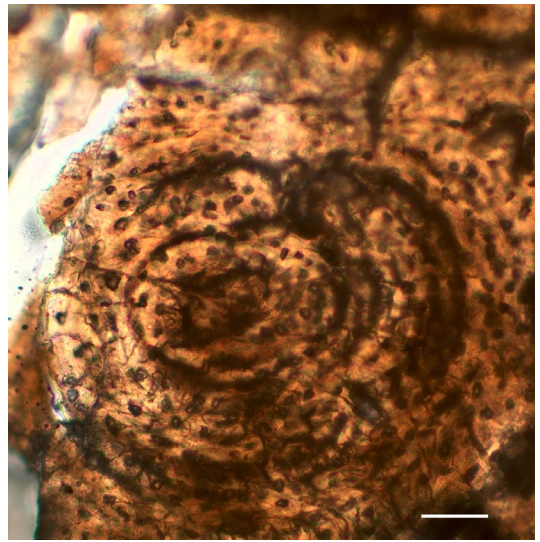
5



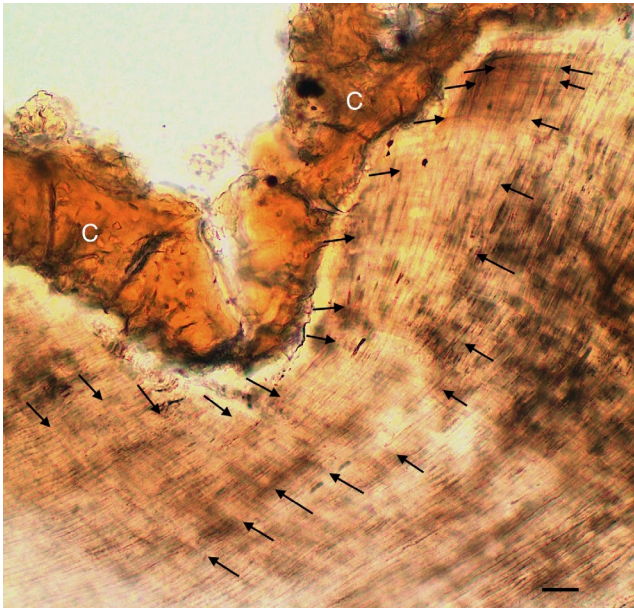
6



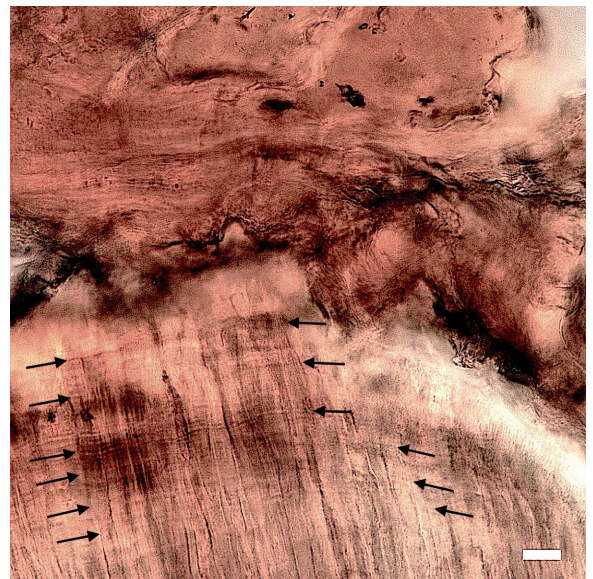
7



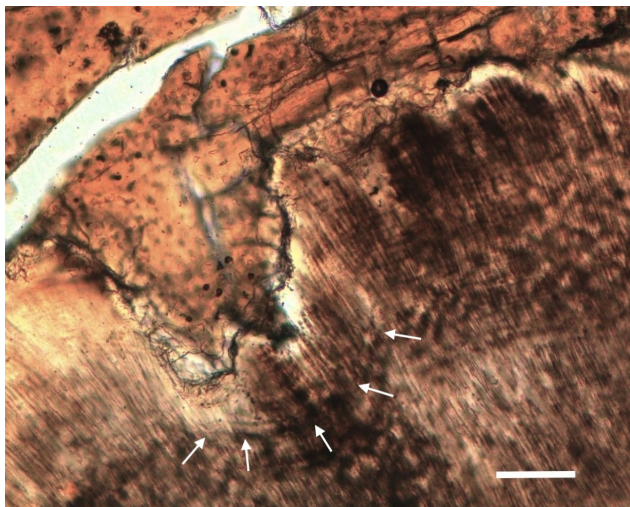
8



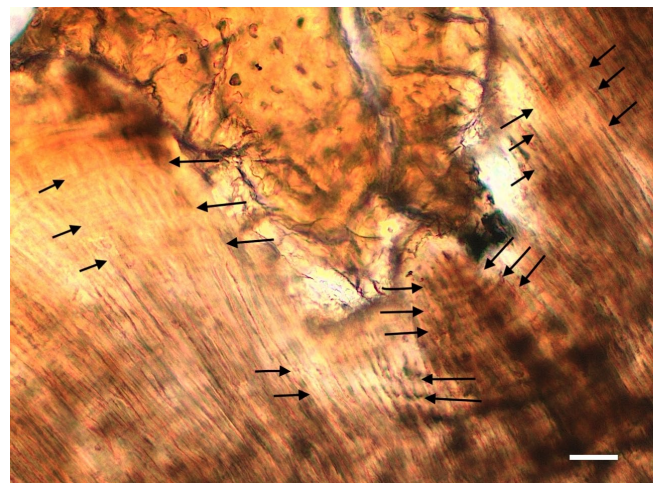
9



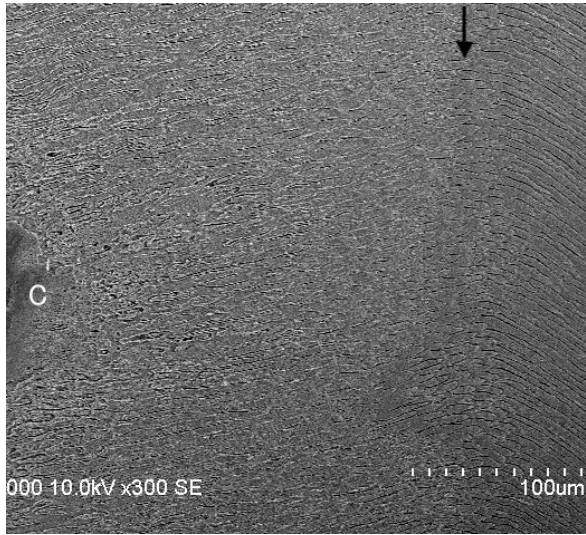
10



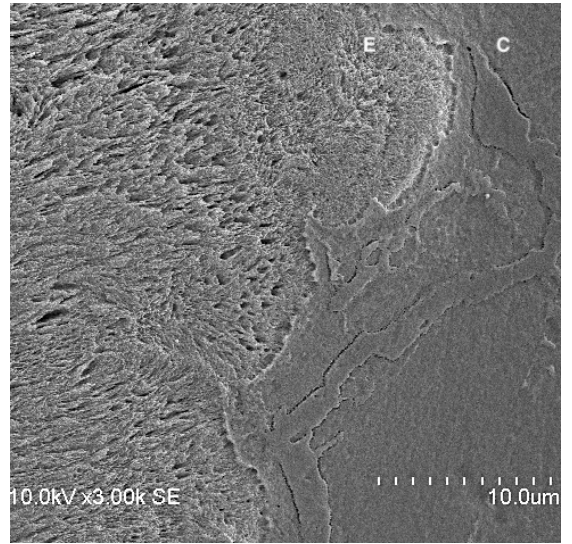
11



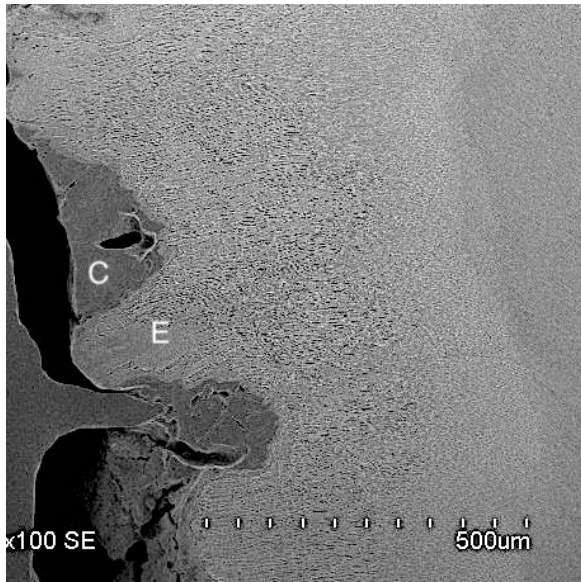
12



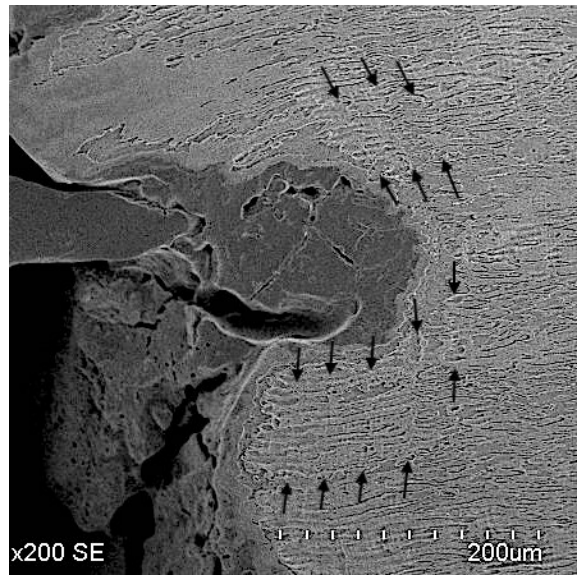
13



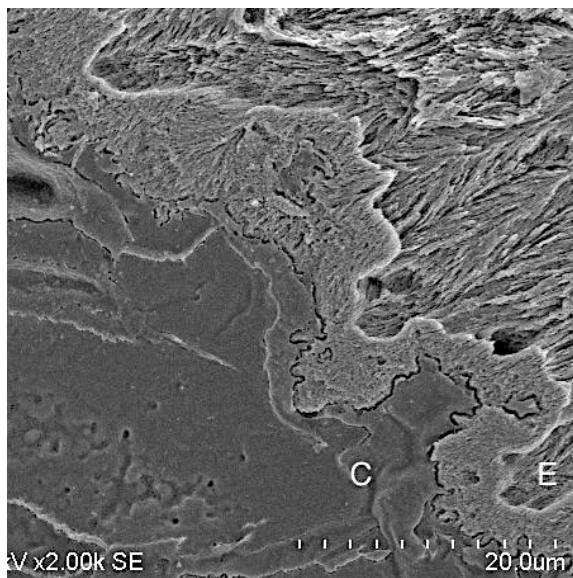
14



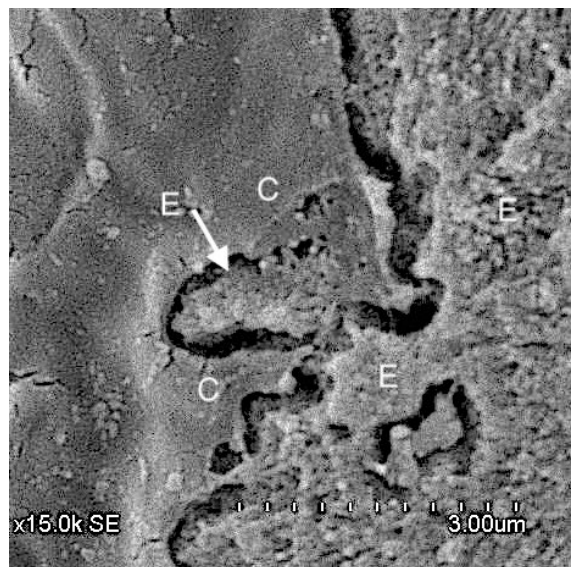
15



16



17



18