

成長線の諸問題について

小澤 幸重*

I. はじめに

化石の歯に限らず、骨などを切断して研磨するとじつに見事な成長線が現れる(図1)(Penniman, 1952)。成長線の意味が判れば、古生物の環境、生活史、代謝など、じつに様々な点が解明できるはずである。事実、恐竜の歯の成長線、骨の改造といった問題から温血性の問題が提起されたし(Jonston, 1979)、著者自身も妊娠期間の問題を推定したことがある(小澤, 1974)。近年では、古人類の年齢などを推定する試みも行われている(Thompson, 1981)。

しかし、どのような形成機構で、どのような周期に成長線が形成され、それがそれぞれの動物の硬組織にどのように反映されているか、という点になるとかなり問題があり決定できない。いきおい、化石の成長線は一体何を意味しているのだという問題、本当にマンモスの牙(切歯)の成長線は1年間隔なのか、そしてその証拠は何か、という疑問が現生生物学者から出されている。にもかかわらず、現生の動物に於いて年齢査定に成長線が使われ(Ohsumi *et al.*, 1963; 大泰司, 1977)、マンモスの牙の成長線から寿命が50~60年と推定され、これが現生のゾウとよく一致している。

本論では、主にヒトの歯の成長線に関してその成因と意味の問題を挙げてみることにする。何故ならヒトの歯に於ける成長線もじつに多種多様な名称がつけられており(藤田, 1973)、その意味は必ずしも一致していない。即ちこの問題は成長線一般の問題でもありというのが偽らざる現状なのだと考えている。

II. ヒトの歯に於ける成長線

エナメル質、象牙質、セメント質を俗に歯の三硬組織と呼ぶが、これらの組織に様々な成長線があり、一部のものは名称さえ一致していない(図2)。

1. エナメル質

エナメル質に於ける成長線は、1日1本形成されるという横紋(図3)、これが10日間隔で強く出現されるという並行条(レッチウス線条又は褐色条とも呼ぶ; 藤田, 1973)、並行条がエナメル質表面と交叉するとき

に出現する(即ち、エナメル芽細胞が退縮、死に到るために形成される)周波条が挙げられる。周波条はエナメル質の表面から観察され、他の成長線は歯の断面に於いて認められる。出産時に発生した並行条は新産線と呼ばれる(図2)。

上記のような成長線およびその周期と成因は、石灰化不全によって形成され、横紋が日周期、並行条がほぼ週間隔の周期と考えられている。事実、エナメル質を酸で弱く腐蝕すると横紋の部分に有機基質が多く残り石灰化が低い。日周期に関しては、岡田、三村とそのグループ(篠田, 1984)による多くの研究成果があり、昼と夜の血液中のカルシウムやpHなどの変化によるものと推定されている。

しかし、エナメル質は、有機基質が一度分泌され、次にCaとPO₄が分泌されると共に有機基質が脱却されつつ石灰化が進むため、薬物による時刻描記法による研究が困難であり、上記の日周期が実験的に立証されたとは言い難い。

一方、図2にある如く、新産線は、エナメル質にも象牙質にも対照的に出現するため、時刻描記法が可能な象牙質と対比して日周期の成長線を決める方法もある。しかし、象牙質の表層、即ち、エナメル質との境界の石灰化は遅れるため、この方法も完全とは言えない(Kawasaki, 1975)。にもかかわらず、経験的(歯の成長期間)、ないし周囲の状況から横紋や並行条を一定間隔の成長線と決定している現状である。

2. 象牙質

象牙質の成長線は種々様々であり、実に多様な形態を示す。最も細かいと言われる石灰化条(図4)は、主に歯冠象牙質に出現し、1mm中に約700本形成され、象牙質の形成速度から推定して日周期の線とされている(藤田, 1973)。同様に歯冠部象牙質に出現するアンドレーゼン線は、20 μ m間隔とされ、石灰化条と一致する部分もあるが一致しない部分もあるため、形成機構が異なるものと言われている。他に1日周期の成長線としてはエブネル線があるが、必ずしも石灰化条とは一致しない。

藤田 (1973) によるオーウェンの外形線は、球間区の連続した成長線とされるが、オーウェンの外形線は恐竜などでも著しく明瞭に観察される (Jonston, 1979)。ヒトでの周期は不明と言われるが、恐竜では雨季と乾季などの環境変化によるものとも言われている。その根拠は、同様の成長線が現生ワニに於いても出現しているためである。しかし、この事実はオーウェンの外形線に相当する地史的な周期性が現生のワニに反映しており、必ずしも雨季と乾季を当てはめる必要はないと思われる。

しかし、鯨の歯にこの成長線を認め、年周期のものとして年齢査定を行い (Ohsumi *et al.*, 1963)、大きな間違いを起こしているとも考えられないため、オーウェンの外形線ないしオーウェン線は、動物界では主に年周期に起こる体内リズムの周期的変化と考えられている。即ち、小さな環境条件に左右されない年周期のリズムが脊椎動物に存在するものと思われる。

これ以外に、象牙細管が湾曲して出現するシュレーゲル条 (主に歯頸彎曲部に出現する)、歯根表面に出現する根周条などがあり、その周期性、原因については不明のままと言ってよいであろう。ヒトなどの根周条と同様の原因で形成されると推定されるのが、ゾウの牙の表面の輪であり、これを引き起こす象牙芽細胞の周期的変化が、象牙特有の縞を形成する (小澤・神谷, 1991)。

象牙質は有機基質のコラーゲンを主体とし、その表面ないし間隙をアパタイトの結晶が沈着し充満する型の石灰化である。そのためテトラサイクリンや酢酸鉛を用いた時刻描記が可能であり、篠田 (1984) によって数多くの研究がなされ、日周期の成長線が解明されつつある。しかし、実験のサイクルが1~7日であり、月、年といった長周期のものにこれを当てはめることは妥当でない。

象牙質の成長線は、一般的に研磨標本では複屈折による明暗、脱灰標本では染色性 (ヘマトキシリン・エオジン染色の場合は塩基性色素のヘマトキシリンに染色される) の違いによって現れ、石灰化の悪い部分が成長線に相当し、夜行性と昼行性の動物によって逆転することが示されている (篠田, 1984)。化石でもメタクシテリウム (図5) や、デスモステルス、ペヘモトプスといった海生哺乳類の歯にも成長線がよく出現し、とくに石灰化条は石灰化の良否を推定させる現象として現われる。一般的に無意識に使われていることであるが、石灰化の良否と成長線とは深く関連していると推定される。海生哺乳類でこれがよく認められることは、陸生より海生がはるかに環境変化がゆるやかなため、成長線の成因の原因を解く鍵になる可能性を示していると思われる。

骨やセメント質の石灰化は、基本的に象牙質と同様であるが、成長線の種類はさほど多くない、というより区別されていない。一方に於いて、象牙質の成長線は様々な名称がつけられている。この原因は象牙質が比較的均一な組織であるため、細かな成長線も認められやすい点、石灰化が比較的良い組織であるため生体の少しの変動も記録されやすく、それ故、繊細な感受性の豊かな組織であるとも言えることができる。このような原因以外に、象牙質の石灰化の多様性がある。石灰化条とアンドレーゼン線、エブネル線などが、一部しか一致しないのは、象牙芽細胞の形態、石灰化球などの石灰化の形態等が部位的に異なるため、部位的な石灰化の違いが成長線の多様性に反映されていると推定している。このような象牙質の同じ歯の中での部位的な石灰化の違いを解明することは、成長線の解明に重要と考えられ、さらに歯の形態の決定にも重要なものと考えられる。

3. セメント質

ヒトのセメント質 (図6) をみる限り、成長線は不規則であり、セメント質と類似する骨 (図7) の方がよほど規則的な成長線を示す。しかし、シカなどの年齢査定で使われるところ (大泰司, 1977) をみると、性周期の明瞭な動物では、セメント質の成長線が規則的に出現するといわれているようである。即ちヒト化の過程で生体リズムがかなり乱れているために成長線が不規則になっていると思われる。

III. 成長線はどのように形成されるか

硬組織のみをみる限り、石灰化の悪い線が成長線となり、周期的なものと、周期的でないが必ず出現するもの、病気などの環境や生物体の様々の現象によって出現する不規則な成長線などがある。これを原因と共に表1にまとめてみた。

哺乳類で最も普遍的に出現するのは、新産線 (図2) であり、すべての硬組織に出現する。新産線より以前に形成される成長線は間隔がかなり短く、日周期より短い生体の周期性を示す可能性もある。新産線は胎生への進化と共に出現したものであり、哺乳類の進化における成長線の原点とも言える。しかし、胎生期と出産以後との代謝の変化がどのようにしてこの成長線の石灰化に影響を与えているのかについてのメカニズムは明らかとなっていない。

周期性を持つ成長線では脊椎動物を通して、とくに爬虫類と哺乳類の象牙質に出現するオーウェン線が年周期の明瞭な成長線であり、地球の公転と一致すると思われる。エナメル質では、細かい成長線 (横紋) が非常に良く観察される (図8)。この最も細かいものが日周期の成長線と一応考えたい。両者を基本としてそ

表1 生体のリズムと成長線

周期	原因	
—45億年	地球の誕生 (海洋形成)	Mg, Cl, Na, K, CO ₂ の石灰化への関与 細胞分裂
約2億年	造山運動 (アルプス造山運動)	新産線
年	地球の公転	↑ レッチウス条
月	月の公転	↑ 周波条 ↑ オーウエン線 ↑ エブネル線 ↑ 根周条 ↓ セメント層板 骨層板
週	?	↓ アンドレーゼン線
日	地球の自転	横紋 石灰化条(?)
その他	季節、病気 環境変化	休止線 反転線等

れ以外の週、月などの成長線の原因をも表1では仮定してみた。

成長線の規則性は、動物の行動などに起因する(篠田, 1984)としても、この行動は魚の回遊, サケの川遡り, ウナギの生活史などにみられる如く、地球の歴史、生物の進化の過程に起因すると考えられる。それ故、年以上長い周期性もあろうし月と年の間の周期性もあり、これらが混在して出現するため、周期性の解釈が一致しない原因の一つとなっているようである。

地球の歴史的過程に関連し、生体バイオリズムに重要とされる原因のひとつに、松果体(第三の目、頭頂眼)がある(佐藤, 1993; 和気・佐藤, 1984)。松果体は言うなれば脳の一部でもあり、ここに記録された周期性が生体リズムに深く関与していることは数多くの実験で明らかとなっている。この周期性と硬組織の直接の関連性は明らかとなっていないが、両者が一致していることは事実が示している。即ち、光の受容に関する周期性が何らかの代謝経路を介して石灰化に関与している。

飛躍するが、年、月、日の周期はこれで理解できるとして、週はどうかという問題が残る。並行条は10日(これを週と解釈すれば)、即ち、10日間隔の周期性が歴史上あったことを示している。これは、月の4分の1の周期、即ち月が欠けだして半月になるまで、半月から新月になるまで、新月から再び月が半月になるまで、そこから満月になるまでと解釈する。すると脊椎動物以前に獲得した周期性が依然として、脊椎動物とくに哺乳類やヒトに進化する過程で様々な周期性を捨てたり、再び獲得した周期性が混在することになる。

このように考えると成長線を解決するのは、地球の歴史や生物界、化石に基づいた広い問題として捕らえること(歴史性)、石灰化機構に於ける成長線の形成要因を解明すること(現実性)が結合して解決されるで

あろう。

文 献

- 藤田恒太郎(1973): 歯の組織学, 医歯薬出版。
 Jonston, P.A. (1979): Growth rings in dinosaur teeth. *Nature*, 5705, 635-636.
 Kawasaki, K. and Fearnhead, W. (1975): On the relationship between tetracycline and the incremental lines in dentine. *J. Anat.*, 119, 49-59.
 小澤幸重(1974): 北海道上徳志別産 *Desmostylus* の臼歯の組織学的研究. 地質学雑誌, 4, 179-185.
 小澤幸重・神谷英利(1991): 歯の組織学. 亀井節夫編, 日本の長鼻類化石, 築地書館, pp. 187-192.
 Ohsumi, S., Kasuya, T. and Nishiwaki, M. (1963): Accumulation rate of dentinal growth layers in the maxillary tooth of the sperm whale. *Sci. Rep. Whales. Res. Inst.*, 17, 15-35, plate 1-7.
 大泰司紀之(1977): 齢査定法に関する総説. 哺乳類科学, 34, 哺乳類における齢査定と生長特集号, 1-7.
 Penniman, T.K. (1952): Pictures of ivory and other animal teeth, bone and antler. eds by T. K. Penniman and B.M. Blackwood, Oxford Printed at the University Press, Great Britain.
 佐藤哲二(1993): 松果体, 最新内科学大系12-間脳・下垂体疾患. 中山書店, pp. 145-150.
 篠田寿(1984): 生体リズムと歯. 紫耀, 32, 402-413.
 Thompson, D.D. (1981): Age determination for the Shanidar 3 Neanderthal. *Science*, 212, 575-577.
 和気健二郎・佐藤哲二(1984): 松果体の進化. 代謝, 21, 松果体II, 3-12.

Abstract

Variable incremental lines or growth lines are observed in the vertebrate hard tissue. On the teeth of mammals, the enamel contained 4 kinds of incremental lines such as the striation of enamel prisms (daily), Retzius lines (10 days), Perikymata and the neonatal line. In the dentin, calcoglobulin contours (daily), lines of Andresen's (intervals of about 20 μm), Von Ebner's line (5 days), contour lines of Owen and striae periradicales (Perikymata-like lines on root) are observed. The interpretation of these lines is in disagreement not only with text books but also scientists opinions.

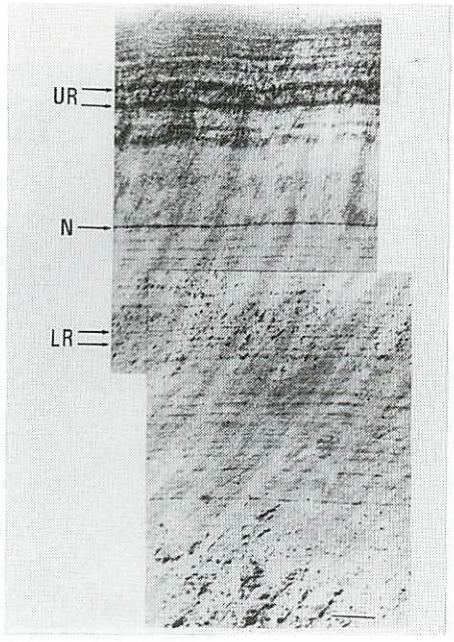
On the other hand, reptilian teeth have variable types of rhythmic lines. However, the origin of these lines is unknown.

These incremental lines by the rhythmic metabolism may be made from the environmental changes of animal evolution. It is considered that the most dynamic rhythmic metabolism of animal was caused by the origin of life in the sea. Also the change may be caused by the earth's evolution. The author estimated that the monthly metabolic changes observed in the hard tissues were caused by the moon's motion. The author thinks that the complex lines of dentin and cementum were caused by differences of the local calcification pattern in complex teeth. Variable incremental lines must be understood from the point of view of animal evolution.

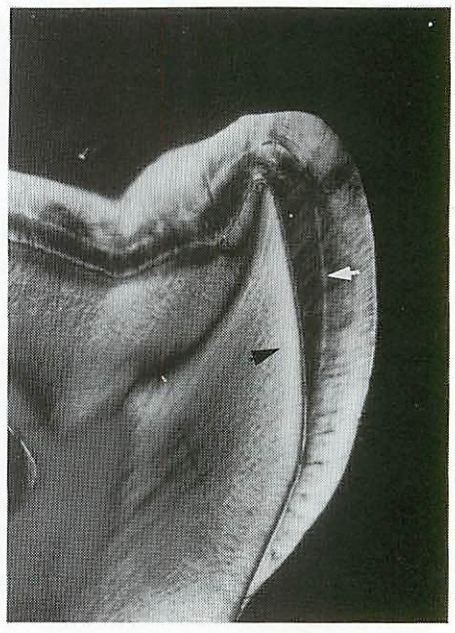
図版の説明

- 図1 デスモスチルスのエナメル質の成長線
化石の成長線は、化石化の過程で明瞭となり、現生の歯や骨より美しい(単位100 μm)。N：新産線，UR：Nよりエナメル質表面側の成長線，LR：Nよりエナメル質深層側の成長線。
- 図2 新産線
ヒトの上顎第2乳臼歯エナメル質の新産線(白矢印)。象牙質でもわずかに確認される(矢印)。エナメル質ではその深層と表層で光の屈折性が異なり、代謝が著しくなっていると考えられる。(25倍)
- 図3 横紋，レッチウス条，周波条
横紋の間隔はエナメル質の部位によって異なるが約5 μm ，これが10本重なってレッチウス条(矢印)が出現する。レッチウス条がエナメル質表面に達した部分が周波条となる。(400倍)
- 図4 石灰化条
象牙質に出現する指紋のような石灰化条。20~30本間隔で濃い領域が出現し，これがアンドレーゼン線に一致する場合もある。(400倍)
- 図5 メタクシテリウムの石灰化条
上図：歯冠のエナメル質に近い部分に石灰化条の形態とほぼ一致する形の成長線が認められた。この動物の歯冠部象牙質は，ほぼヒトのものと同様の石灰化様式であると考えられる。ただし成長速度は異なる。(単位100 μm)
下図：石灰化球の間に出現した球間象牙質が石灰化が低いため，化石化過程で溶出したと推定される。それ故上図の成長線の石灰化は悪いものであったと推定される。(単位10 μm)
- 図6 セメント質の成長線
不規則な成長線が配列する。(80倍)
D：象牙質
- 図7 骨の成長線
骨では成長線に沿って骨細胞が配列する。即ち，骨細胞の活性の周期性がセメント質と同様に明瞭と考えられる。(100倍)
- 図8 セイウチのエナメル質
海生哺乳類で寒い地方に生息するが，成長線は規則的で明瞭，細かい間隔のものから幅広い間隔のものまで各種のものが認められる。(300倍)

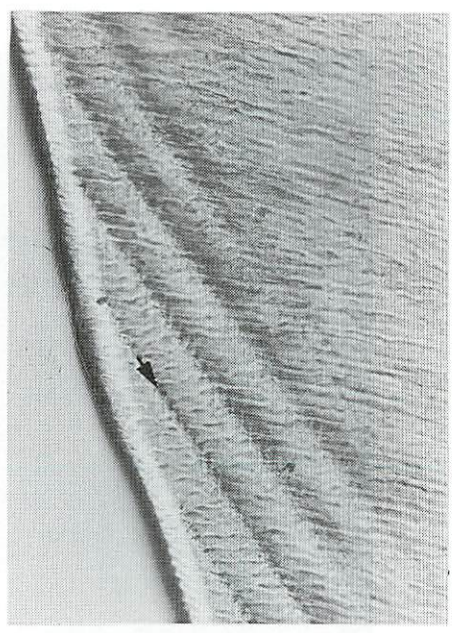
1



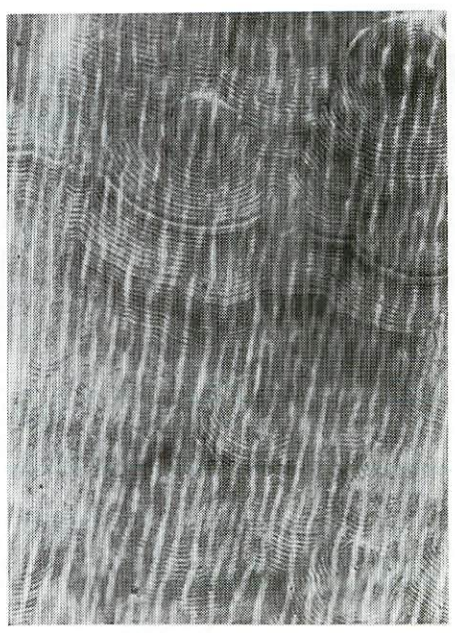
2



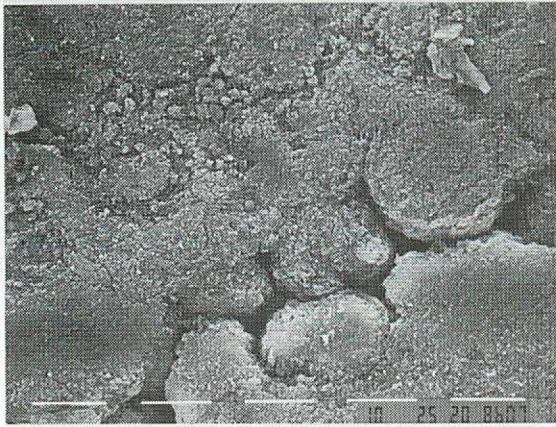
3



4



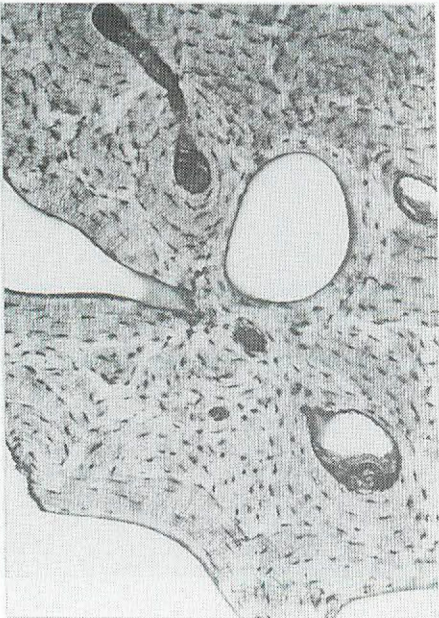
5



6



7



8

