

走査トンネル顕微鏡による成人大白歯エナメル小柱と象牙細管の微細構造の解析

波多野 博 行, 藤 原 努, 倉 田 茂 昭
根 岸 秀 幸

1. まえがき

歯牙組織の微細構造に関しては、従来は、主として、電子顕微鏡によって観察されてきた。しかしながら、歯牙組織の生理活性に関して、その微細構造との関係を明らかにしようとするれば、単に物理的な形状に関する情報だけではなく、分子・原子レベルでの超微細構造や、化学情報も含んだ解析が必要である。電子光学顕微鏡や走査トンネル顕微鏡、あるいはまた、蛍光や赤外光の顕微分光装置などは、このような要望に応え得る新しい解析機器として期待される。

本報告は、走査トンネル顕微鏡を用いて、成人大白歯のエナメル質および象牙質の観測を行い、エナメル小柱や象牙細管の nm 域での超微細構造を解析した結果を報告するものである。

2. 走査トンネル顕微鏡

走査トンネル顕微鏡 (Scanning Tunneling Microscope: STM) は、1982年に、スイスの IBM 研究所の Binnig と Rohrer によって開発され、ドイツのマックスプランク研究所の Ruska が開発した電子光学顕微鏡と共に、1986年のノーベル物理学賞を受賞した新しい解析技術である。

STMの原理は、図1に示すように、先端を原子スケールに鋭く尖らせた白金、または白金イリジウムの金属探針 (tip) を、試料表面に 1 nm 程度に近付けて電圧をかけると、トンネル効果により非接触でも電流が流れる。この電流はトンネル電流と呼ばれ、その強さは nA 程度で、これを増幅して piezo 圧電素子の Z 軸方向にフィードバックすると、探針の先端と試料表面との距離を一定に保つように微駆動操作を動作させることができ

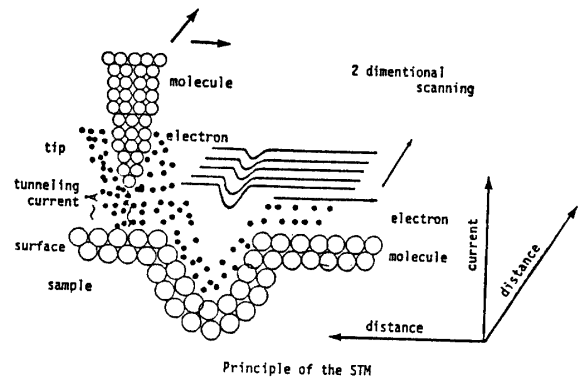


図1 走査トンネル顕微鏡の原理

る。そこで、piezo 素子の X Y 軸方向にドライブ電圧を加えて走査させると、Z 軸電圧は試料表面の凹凸の形状に対応して増減する。この X Y 軸ドライブ電圧と Z 軸フィードバック電圧を三次元的にプロットすると試料表面の形状を反映した原子・分子レベルでのトポグラフ (地形形状図) を得ることができる。これらの操作は高度な真空技術を必要とせず、常温常圧下で容易に行うことができるので、多方面での応用に有利な優れた特徴を持っている。

3. 実験法

試料はヒト成人大白歯を用い、図2に示すように、エナメル質は垂直方向に切断した。エッチング処理は 0.1N 過塩素酸で 30 秒間浸漬して行った。象牙質はエナメル質と同様に切断した後、鏡面研磨し、研磨後に、0.1N 過塩素酸で表面を脱灰した。

放射線損傷の観察は、日本原子力研究所東海研究所の 10 KC ^{60}Co γ 線照射装置により、 6.3×10^6 rad/hr の線量率で総線量 10^7 rad を照射した後、STMとSEMの観測に供した。

STMは(株)ユニソク製 USM-101 型および

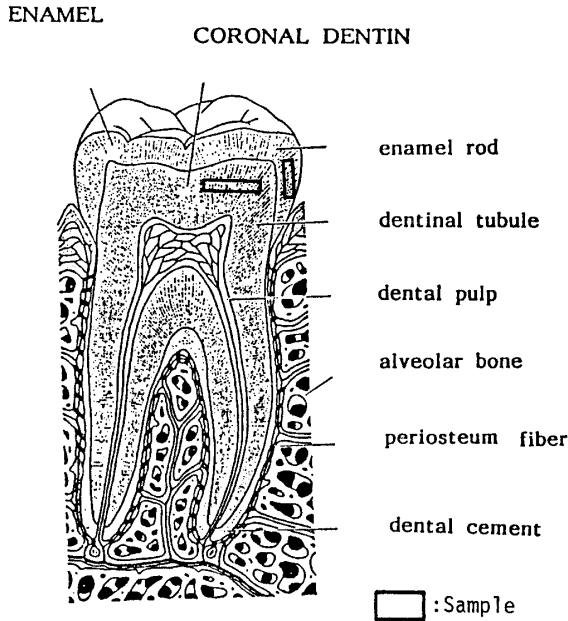


図 2 成人大白歯の断面STM試料

KURASURF USM-201型を用いた。SEMは日本電子製JSM-820型を用いた。

4. 結果と考察

(1) エナメル小柱

歯を垂直方向に切断した場合のエナメル質のエナメル小柱は酸による脱灰処理しないと、SEM像は平板状で観察は困難である。しかしSTMを用いると図3に示すようにそのトポグラフ (topograph) を得ることができ、細部の微細構造を観測することができる。酸による脱灰処理を施せば図4 a, bに示すSEM像が観察できる。図4

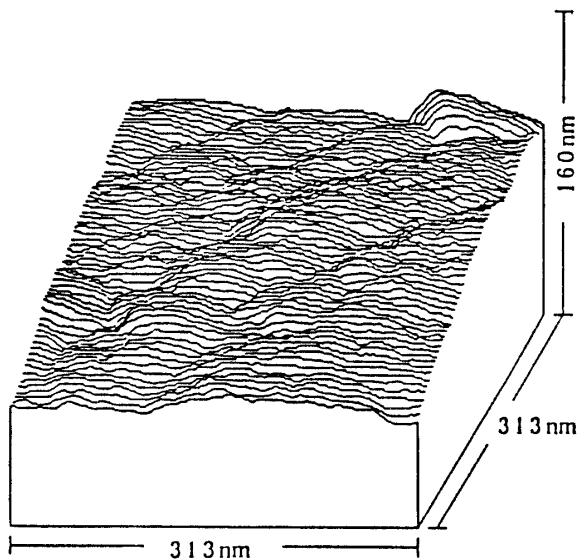


図 3 エナメル小柱のSTMトポグラフ

pograph) を得ることができ、細部の微細構造を観測することができる。酸による脱灰処理を施せば図4 a, bに示すSEM像が観察できる。図4

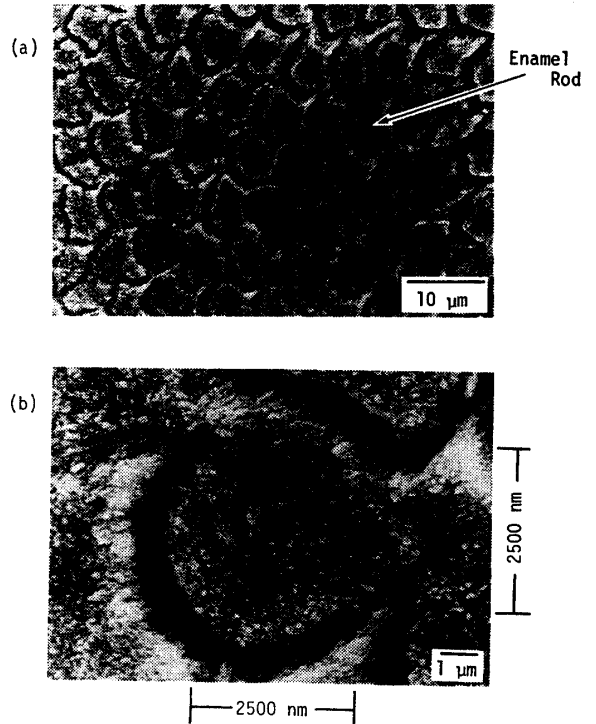


図 4 酸による脱灰処理をしたエナメル小柱の断面 (a)SEM像 (b)小柱1片のSEM像

bに示すような小柱の一片をSTMで観測したものが図5である。

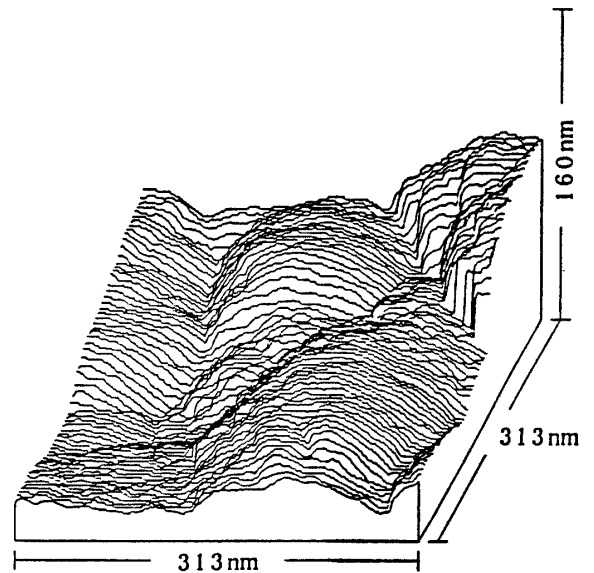


図 5 エナメル小柱のSTMトポグラフ

(2) 象牙細管

象牙質の象牙細管は、酸による脱灰処理はしなくても、図6 a, bのようなSEM像は観察できる。この一つをSTMで観測した三次元(60°角度)トポグラフと二次元平面像とを図7 a, bに示す。さらに角度を変えて上方からみた像は図8 aである。このような走査線は任意の一本について

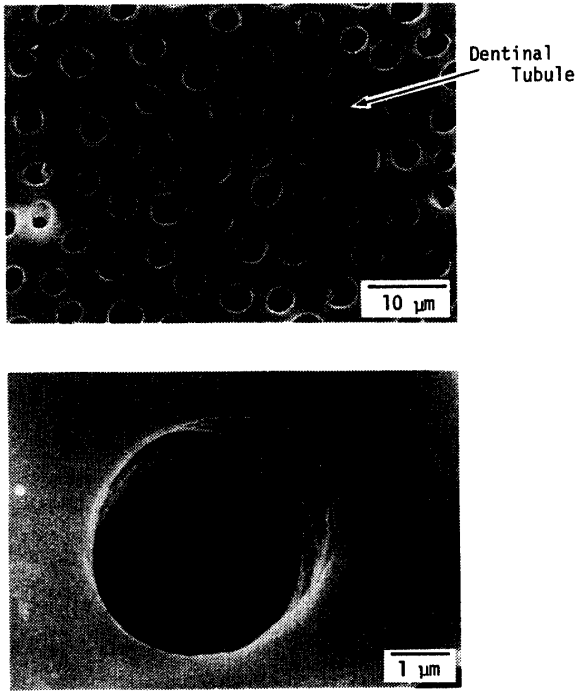


図 6 象牙細管のSEM像

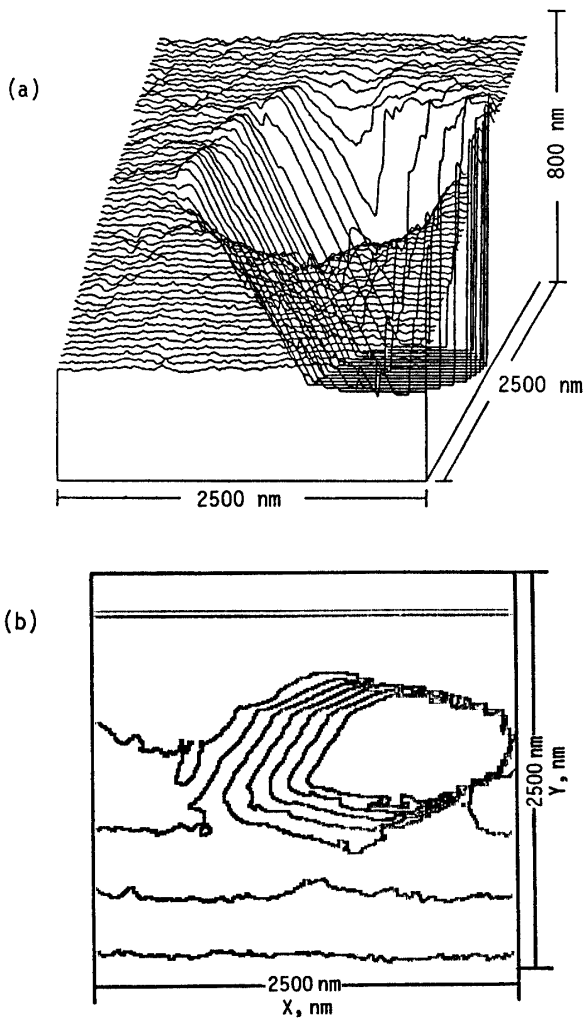


図 7 象牙細管のSTM像
(a)三次元トポグラフ (b)二次元トップビュー像

て図 8 bのように記録することができる。これによって、細管の管径や管周囲の凹凸の大きさをnm域で計測することができる。これがSTM観測の大きな特徴である。

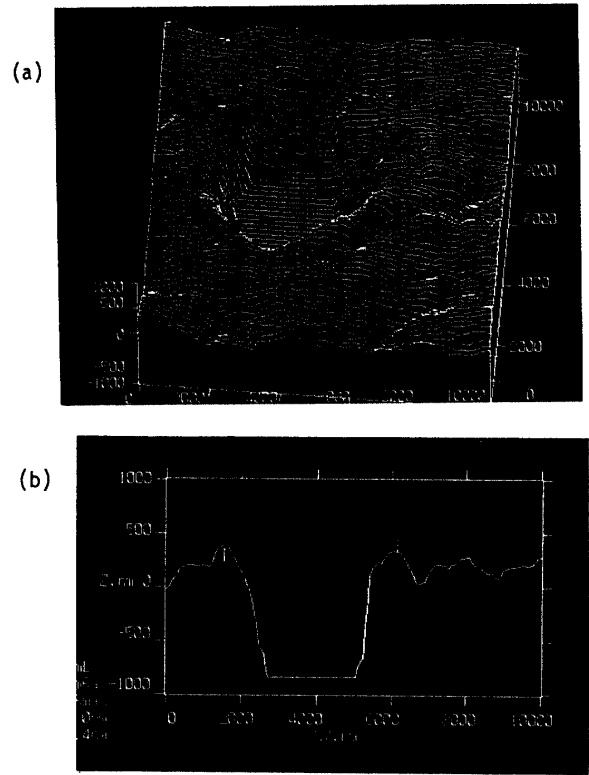


図 8 象牙細管のSTM像
(a)三次元トポグラフ (b)断面形状の測定

(3) エナメル質と象牙質に対するγ線照射の影響

STM観測技術を用いると歯牙組織の変形過程を観測できるものと期待される。本実験ではγ線照射の影響をSTMによって観測した。

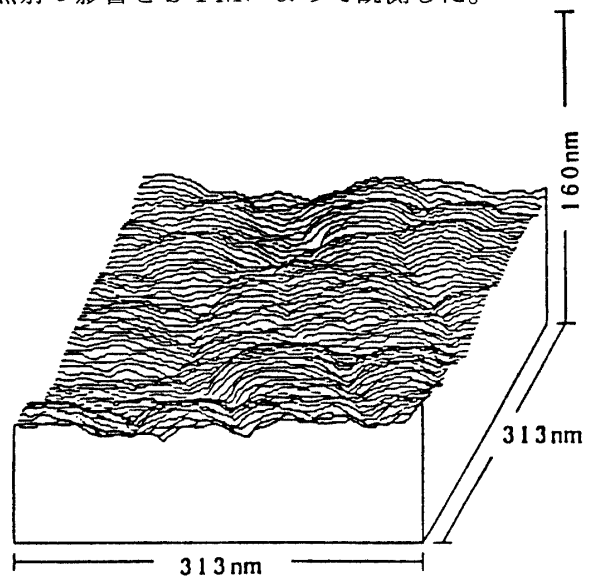


図 9 γ線照射したエナメル小柱のSTM像
(図3の非照射STM像に対応)

図9は図3に示したエナメル小柱に対応した試料に 10^7 rad の γ 線を照射した場合のSTM像である。整列していたエナメル小柱が乱れていることが観察される。

図10は同様に象牙細管について γ 線照射の影響をSTMで観測したものである。図7aのSTM像に比べて細管周縁の崩壊が観測される。

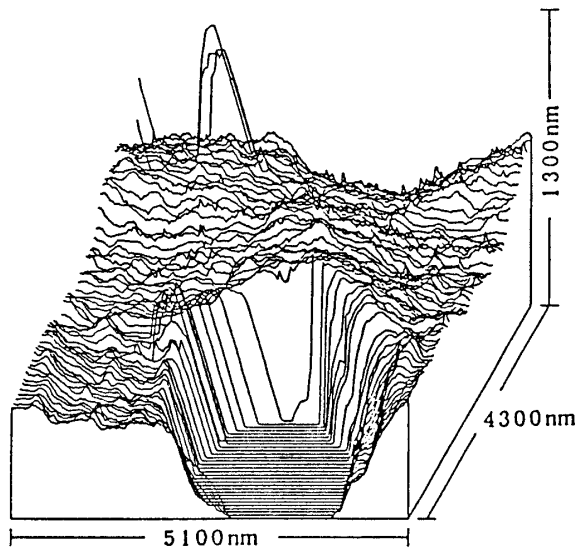


図10 線照射した象牙細管のSTM像
(図7(a)の非照射STM像に対応)

5. おわりに

STMによる観測技術の特徴は、まず室温で、しかも高度な真空技術は全く必要とせず、容易に操作できる点にある。さらに前述したように、nm域での走査記録によって、トポグラフの高さ、幅、拡がりなどの形状が容易に計測できる。ただし、導電性を持たせるために金蒸着したり、オスミウム処理したりするため、その影響を免れることはできない。しかし、試料調製さえ成功すれば、表面構造のみならず、内部の微細構造も計測できるので、将来、齲蝕の進行のような口腔病変の過程とか、補綴技術の管理などの口腔技工技術の向上にも役立てることができると期待される。

本論文の要旨は次の機会に発表した。

- 1) 波多野博行, 藤原 努, 倉田茂昭, 根岸秀幸: 日本放射線影響学会第31回大会, 同講演要旨集2—C—15, p. 245 (1988年10月) 広島; J. Rad. Res., 30 62 (1989)
- 2) H. Hatano, T. Fujihara, S. Kurata, H. Negishi: The 1989 Pittsburgh Conference, No. 634 (March, 1989) Atlanta (U.S.A)