

エナメル細管の進化について (その1)

—日本でどのように研究するか—

小 沢 幸 重*

I. まえがき

筆者は、本年の化石研究会総会に於て「エナメル細管の進化について」という講演を行ない、会員諸氏の御批判をいただいた。本小論は、上記発表の概要をまとめたものである。

エナメル細管の仕事を手がけた動機は次のようなものである。第1に、筆者は哺乳動物の歯の比較解剖を行なっているが、おもに下等な哺乳動物にエナメル細管が存在すること。第2に、エナメル細管の存在は、Owen (1840-1845) の時代から広範な脊椎動物 (魚類も含めて) に存在することが判っていた。つまりエナメル細管の起源については魚類、両生類の研究が主役をになうと考えられる。しかるに、化石研究会をも含めてこのような研究の例をあまり耳にしたことがないこと。第3に、エナメル細管の研究は、あたかも有袋

類に独占されている感があること (Mummery, 1924; Boyde & Lester, 1967; Lester, 1970; Osborn, 1974)。第4に、このような傾向への苛立ちと共に、日本でもエナメル細管を持つ動物が (筆者の場合は哺乳動物であるが) 比較的たやすく入手できる見通しがあること。第5に、最も重要なことだが、これまでのエナメル細管の研究は、その分布や存在様式については検討されているが (例えば Osborn, 1974), 何故存在するかについての研究がなく、物足らなさを感じていたこと、などである。

エナメル細管の研究にあたっては、広範な脊椎動物の進化に沿った比較解剖学的研究と、現生の動物でのエナメル細管の発生とその存在意味についての実験をしなければならないと考えられる。そこで筆者は、これまで行なってきた哺乳動物の歯の比較組織学と比較

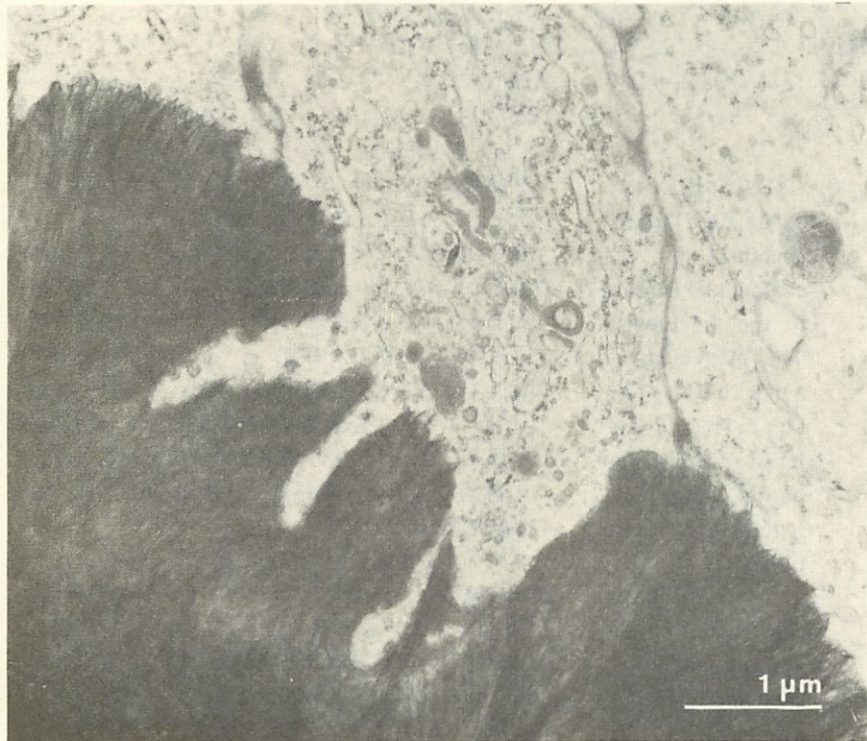


Fig. 1

Tomes' processes of pig ameloblast have some small projections which penetrated into the enamel matrixes. These small projections may also play to calcify the enamel.

Yukishige Kozawa: A propose for the problem of enamel tubule and its evolution, part I.

* 日本大学松戸歯学部解剖学教室

発生学的研究の結果から、エナメル細管の問題にアプローチを試み、仮説をたててみた次第である。

II. エナメル細管を持つ細管エナメル質

エナメル質が多孔質で沢山の細管があるものを細管エナメル質 (Tubular enamel) と呼び、これを持つ動物では有袋類が最も有名である。しかし、細管エナメル質を持つ動物は、哺乳動物に限定しても、白亜紀以前の原始的哺乳類、現生の単孔類や有袋類、一部の食虫類や翼手類、下等霊長類、岩狸類、鯨類の一部など広く分布している。いっぽうにおいて、ボルヒエナやウォンバットは有袋類でありながらエナメル細管を欠いている。つまり、日本でも身近なところで細管エナメル質の仕事ができそうだと夢が掻きたてられるのである。

以上の如く、哺乳動物でのエナメル細管の分布は、比較的原始的な種類に多く、エナメル質の原始的な構造のひとつと言える。哺乳動物においてこのようなのであるため、魚類、両生類、爬虫類の研究にとって、とくに歯を研究している者においては、ひとつの大きなテーマとしてエナメル細管がとりあげられなければならないであろう。

発生学的には、エナメル細管の起源がエナメル芽細胞にあるのか (Lester, 1970)、象牙芽細胞にあるのか (Mummery, 1924) という問題点、これには上皮と間葉の相互作用の問題も当然からんでおり解決せねばならない。

III. エナメル細管の意味とレリック

筆者は、ブタとネコのエナメル質組織発生の仕事において、発生の初期に一過性にエナメル細管様構造が出現し、その細管がエナメル芽細胞と象牙芽細胞の相互から形成されることを示唆した (小沢ほか, 1981; Kozawa & Tateishi, 1983)。つまり、エナメル質組織発生初期のエナメル芽細胞はエナメル小柱に伸長する突起を持つこと (Fig. 1)、他方、象牙芽細胞の突起つまり象牙線維の側枝はエナメル小柱内の細管に入っていることもあるが、多くは小柱間エナメル質の細管をとおしてエナメル芽細胞層にまで侵入する (Fig. 2)。これらの突起のうち、後者の象牙芽細胞の突起がエナメル紡錘や単純突起形成を担っていることは疑いない。

筆者は、形態学的な裏づけから、次のように推定している。エナメル芽細胞の突起は、象牙芽細胞の分化に対する誘導、およびエナメル質の石灰化に関与する。象牙芽細胞の突起は、エナメル芽細胞の動きの制御、つまりシュレーゲルの条紋やエナメル小柱の配列形成に関与する。この両者の突起の伸長と接触の通路がエナメル細管である。両者の発生学的な経過についての仮定は「その2」にゆずり、ここではその理由について要点のみ以下に述べたい。

未分化な上皮性の内エナメル上皮 (=エナメル芽細胞) が象牙芽細胞の分化を誘導することについては、教科書においてもとりあげられている (Bhasker, 1976) のでここでは省く。この時期の内エナメル上皮 (=エナメル芽細胞) はいくつもの小突起を間葉の象牙芽細胞に伸長させるので、これが象牙芽細胞の分化に関与していると考えるのは当然であろう。

象牙芽細胞の分化が起こり、象牙質の石灰化が開始されると、エナメル芽細胞が分化しエナメル質の形成が始まる。エナメル芽細胞は、エナメル質基質を分泌すると共に、分泌した基質の中から有機質を吸収・脱却してエナメル質の石灰化を進める。この2つの機能のうち、エナメル質形成の最終段階になると後者が著しく強くなり、エナメル質全体の石灰化が高くなる。この時期のエナメル芽細胞は、成熟期または (基質の) 脱却期と呼ばれる。

エナメル質組織発生の経過に従って、エナメル芽細胞は、概略して分化期、(エナメル質の) 基質形成期、(エナメル質の) 成熟期と大きくわけられ、基質形成期は分泌そして成熟期は吸収が各時期の主要な機能となる。しかし前記のとおり元来エナメル芽細胞は、分泌と吸収を同時に行なう細胞である。この機能は下等な動物になればその発生的な時期に沿って画然と区別されない、と考えられる。

このようなエナメル芽細胞にあっては、より効果的

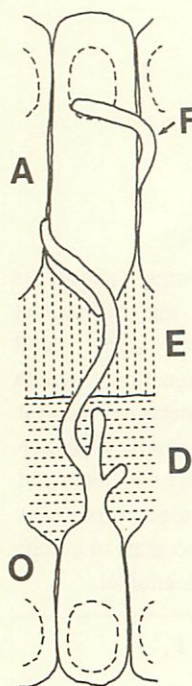


Fig. 2 Filopodia of odontoblasts penetrate into the enamel and contact to the ameloblast. The movement of ameloblasts, forming the Hunter-Schreger bands, may be regulated by those filopodia. This model is constructed by the amelogenesis of cats and pigs. (A: ameloblast, E: enamel, D: dentine, O: odontoblast, F: filopodia)



Fig. 3 On the early differentiating stage, ameloblasts of *Suncus* have long Tomes' process containing many secretory granules and coated vesicles for the enamel formation. These long type Tomes' processes sometimes contact to the odontoblastic process in the enamel tubule.

にエナメル質の石灰化、有機質の脱却が必要である。その手段が、エナメル芽細胞からエナメル質内へ伸長していた突起であり、エナメル細管形成のひとつの役を担っていたと推定される。これを裏づけるのが、ブタのエナメル芽細胞の小突起である (Kozawa & Tateishi, 1983)。

他方、象牙芽細胞の突起は伸長してエナメル質を貫ぬき（というより伸長した突起の部分避けてエナメル質が形成される）エナメル芽細胞層まで達する。エナメル芽細胞に達する象牙線維は、ネコにおいてもブタのエナメル器においても確認される。つまり、象牙線維の伸長もエナメル細管形成に重要な役割を担っているのである (神津, 1983)。

エナメル細管の形成には、エナメル芽細胞の突起と象牙芽細胞の突起の双方が関与しているのである。故に Lester (1970) のエナメル芽細胞が関与しているという観察も、Mummery (1924) を始めとする象牙線維が関与しているという説も、一面的なのである。

高度に分化したエナメル芽細胞と象牙芽細胞を持つ哺乳動物では、双方の細胞の突起が退化し、故にエナメル紡錘や単純突起形成の原因となる。これはエナメル質の構造を顧みれば一目瞭然である。エナメル細管を持つ哺乳動物のエナメル質にはシュレーゲルの条紋が発達せず、エナメル紡錘や単純突起の存在するエナメル質の深層（象牙質に近い部分）も比較的単純なエナメル質の構造なのである。両者は相同的構造といえよう。

IV. 日本で何ができるか

IIIで立てた仮定を証明する手段が問題である。日本で有袋類を使いたくともそうたやすく実験動物化できない。しかし食虫類の飼育は、大変であるが、ある程度飼育できるものにジャコウネズミがいる。ジャコウネズミの歯胚を研究した結果次のような結果が得られた。

①歯の研磨標本の観察では、シュレーゲルの条紋が比

較的単純で、エナメル質内に長いエナメル紡錘が多く認められる。このエナメル紡錘は、エナメル細管ではないが、エナメル紡錘への移行的型と考えてよさそうである。

- ②歯胚のパラフィン切片においては、エナメル質形成初期に細長いトームス突起をだすが、エナメル質形成が進むと他の哺乳動物と同じ短いトームスの突起となる。
- ③電子顕微鏡的に観察したエナメル芽細胞は、②に記した長いトームスの突起からエナメル細管中に細い突起をだし、この突起が象牙芽細胞の突起つまり象牙線維と接触することもある (Fig. 3)。
- ④長いトームスの突起は、細胞小器官の状態からエナメル質形成に関与している。
- ⑤以上の諸点は、エナメル細管の退化過程のひとつと推定される。

V. 今後の方向

IVに記述したジャコウネズミの結果はまだ不完全である。第1に、ジャコウネズミのエナメル質組織発生をもう少し詳細に検討しなければならない。第2に、エナメル芽細胞と象牙芽細胞の石灰化への関与を明らかにしなければならない。第3に、in vivo, in vitro の培養で、細管エナメル質と無細管エナメル質の形成条件を探ればこれに越したことはない、と考えている。

本論では、ジャコウネズミの実験を中心に、エナメル細管の形成要因の研究について記したが、エナメル細管の発達・進化過程についての考えを「その2」で論じたいと考えている。

文 献

- Boyde, A. and Lester, K. S. (1967) The structure and development of marsupial enamel tubules. *Z. Zellforsch. mikrosk. Anat.*, 82, 558-576.
- Bhaskar, S. N. (1976) *Orban's Oral Histology and Embryology*. 8th ed., Saint Louis.
- 神津知男 (1983) ネコ歯胚の内エナメル上皮に関する電子顕微鏡学的研究. *日大口腔科学*, 9, 483-502.
- 小沢幸重・立石みどり・赤石 茂・平井五郎 (1981) ブタのエナメル芽細胞の電顕的研究—機能端に形成される突起についての考察—. *日大口腔科学*, 7, 223-228.
- Kozawa, Y. and Tateishi, M. (1983) The role of enamel tubule and the evolution of mammalian enamel. In P. Westbroek and E. W. de Jong (eds.), "Biom mineralization and Biological Metal Accumulation", 335-339, D. Reidel Publishing.
- Lester, K. S. (1970) On the nature of "fibrils" and tubules in developing enamel of the opossum, *Didelphis marsupialis*. *J. Ultrastruct. Res.* 30, 64-77.
- Mummery, J. H. (1924) *The microscopic and general anatomy of the teeth, human and comparative*. 2nd ed., London, Oxford Univ. Press.
- Osborn, J. W. (1974) The relationship between prisms and enamel tubules in the teeth of *Didelphis marsupialis*, and the probable origin of the tubules. *Archs oral Biol.*, 19, 835-844.
- Owen, R. (1840-1845) *Odontography*, I, II. Hippolyte Bailliere Pub., London.

A propose for the problem of enamel tubule and its evolution, part I.

Yukishige Kozawa

(Abstract)

Though there are many reports on the tubular enamel, their examinations are almost limited in the marsupials and the role of enamel tubule has not entirely been defined.

There are many animals such as insectivores and bats which have tubular enamel in Japan. But, it is difficult to succeed the study of tubular enamel, because almost these animals have not been domesticated.

The author tries to this examination using the *Suncus*, which belongs to the insectivores and has already been domesticated in our school. Though the *Suncus* has no enamel tubules, its enamel structure resembles to the other insectivores. The pattern of the enamel development on the *Suncus* is intermediate between tubular and no-tubular enamel.