

硬骨魚類の多様なエナメル質の系統関係が提示される

Kawasaki K, Keating JN, Nakatomi M, Welten M, Mikami M, Sasagawa I, Puttick MN, Donoghue PCJ and Ishiyama M (2021) Coevolution of enamel, ganoin, enameloid, and their matrix SCPP genes in osteichthyans. *iScience* 2021 Jan 22; 24(1): 102023. Published online 2021 Jan 1.  
doi: 10.1016/j.isci.2020.102023

脊椎動物の歯は魚類から哺乳類まで共通して見られ、その構成要素の象牙質は基本的には同一の構造からできている。しかし歯や鱗にあるエナメル質については、魚類の分類群で多様性があり、その系統関係は不明であった。ここに紹介する論文で、その関係の一つの方向性が提示された。

この研究では、エナメル質の系統関係を解明するために、魚類の分類学的な系統関係をもとに、石灰化組織の組織構造と発生の比較、そしてタンパク質基質をコードしている遺伝子の解析から、組織の系統発生的な分析がおこなわれた。論文は、この分野の発生や遺伝子に関わる多彩な専門研究者によりまとめられており、エナメル質の系統関係について一定の見解の一致に至ったと見ることができる。

研究内容の説明の前に、魚類の系統関係と石灰化組織の名称について簡単にまとめておく。脊椎動物は無顎類（円口類と甲皮類）として起源し、そこからサメなどの軟骨魚類と硬骨魚類が由来したと考えられている。硬骨魚類は四足動物への系統を含む肉鰭魚類（この論文では肺魚）と、今日一般に見る条鰭魚類が、祖先型の硬骨魚類から独自に分岐したと見られている。ガーは条鰭魚類の原始的グループに、ゼブラフィッシュは高等グループに属している。

この論文ではエナメル質について、軟骨魚類の歯冠部にあるものをエナメロイド、条鰭魚類の歯冠部のものをアクロディン、肉鰭魚類の歯冠部は真性エナメル質または単にエナメル質、条鰭魚類の中で原始的とされるガーの鱗にはエナメル質様の層をもつが、この構造をガノイン、また条鰭魚類の中に歯冠とは別に歯頸部を取り巻く高石灰化部をもつ魚類があり、これをカラー・エナメル質と称している。

さて、本研究では組織構造や石灰化様式の比較から、肉鰭魚類の真性エナメル質は内エナメル上皮側に

形成され象牙細管を有しない。これに対して条鰭魚類のアクロディンは、内エナメル上皮細胞の基底膜より象牙芽細胞側に形成され一般に象牙細管が見られる。また、石灰化様式としては、真性エナメル質とガノインには、protoprismatic microstructure といわれる結晶の配列があり、またエナメル質リボンが形成される点で共通している。これらの比較から、真性エナメル質とガノインの間には相同性があるとみなされる。

一方、遺伝子分析からは、肉鰭魚類の肺魚のエナメル質に *AMBN*（基質タンパク質のアメロプラスチンをコード）と *ENAM*（同様にエナメルインをコード）それに *AMEL*（同様にアメロゲニンをコード）が発現する。他方、条鰭魚類の原始的なグループに属するガーの鱗のガノインとさらに歯のアクロディンならびにカラー・エナメル質に *AMBN* と *ENAM* とともに、*AMEL* ではなく *SCPP5*（基質タンパク質をコード）が発現する。条鰭魚類の高等グループのゼブラフィッシュのアクロディンにも、ガーと基本的に同じ遺伝子発現が認められる。

これらの現生魚類のデータを基に、古生物を含めたエナメル質の系統関係を復元すると、遺伝子のうえて *AMEL* と *ENAM* をもつ硬骨魚類の祖先の鱗のガノインの存在が想定され、これが真性エナメル質、条鰭魚類のガノイン、アクロディン、カラー・エナメル質の起源と考えられる。

この先祖型のガノインから、肉鰭魚類では *AMEL* 遺伝子を獲得する中で真性エナメル質がつくられ、一方の条鰭魚類では *SCPP* 遺伝子を獲得するなかでガノインとアクロディンさらにカラー・エナメル質が誕生したと推論される。

なお、これら4つの遺伝子は、*ENAM* を基に遺伝子重複により誕生したと考えられる、という。

また、軟骨魚類のエナメロイドは組織構造のうえても発生様式においても条鰭魚類のアクロディンなどと区別できるものはないが、*SCPP* が発現することはない。つまり、軟骨魚類のエナメロイドと条鰭魚類のガノインやアクロディンとは独立したもので収斂現象だろうという。

これらの研究から、多様な原始魚類のなかで性質のよく似た高石灰化組織が独立して誕生したことや、その多様性に遺伝子の重複が利用されていることは、他の器官の進化過程ともよく似ており興味深い。長年にわたり混迷していた初期のエナメル質の系統関係に根拠のある筋道を与えている。

(小寺春人)