

ティラピアの内耳、特に耳石器官と耳石の成長に関する 解剖学的、微細構造学的研究

齊 藤 節 雄

魚類の耳石は年齢形質として資源解析に重用されている。近年、多くの魚類の耳石に日周輪の存在が知られ、年齢構造を持たない熱帯性魚や生後1年未満の魚の日レベルでの年齢査定の可能性を開くとともに、初期生活史に関する多くの生態的情報を提供するものと期待されている。しかし、日周輪や耳石の形成、成長機構に関する研究は極めて少なく、不明な点が多く残されている。

硬骨魚類の耳石は内耳膜迷路を構成する通囊、小囊及び壺囊の中に各々一個ずつ存在し、それぞれ礫石、扁平石及び星状石と呼ばれる。扁平石は通常最も大きく、年齢査定におもに利用されている。

耳石は炭酸カルシウムを主成分とする高度に石灰化した組織で、基質として、蛋白質、多糖類、脂質などの有機質が含まれている。しかし、耳石は上述の囊内を満たす内リンパ液中で成長し、これと直接する細胞性構造を欠くことから、これらのカルシウムと有機質の由来や沈着経路についてはまだよくわかっていない。

本研究は、硬骨魚類の耳石の成長、特に日周輪の形成機構を、内耳膜迷路組織のなかで耳石をもつ小囊と、耳石をもたない三半規管膨大部との比較形態学的観察から解明することを目的に行った。

材料として日周輪の存在が証明されているティラピア (*Oreochromis niloticus*) の稚魚及び成魚を用いた。魚には養鯉用ペレットを任意に与え、水温 $27 \pm 1^\circ\text{C}$ 、12 L:12 D (8時点灯、20時消灯)の光周期条件下で飼育した。

光学及び電子顕微鏡 (SEM, TEM) による観察により、小囊は次の四種類の細胞群から成ることを明らかにした。即ち、感覚上皮、移行部上皮、扁平上皮の各上皮細胞及びミトコンドリアに富む細胞 (Mt-細胞) である。小囊壁の大部分は扁平上皮細胞から成り、その一部領域にMt-細胞が密集して観察された。小囊壁体軸側には感覚上皮細胞と支持細胞から成る厚い感覚上皮 (感覚班) が存在し、これに隣接して移行部上皮細胞が薄い扁平上皮との間に存在する。感覚上皮細胞と移行部上皮細胞の上を耳石膜が被い、耳石はその上に載っている。

耳石膜はゼラチン層とクプラ下網状層の二つの異なる層からなる。ゼラチン層は耳石に接してクプラ下網状層の上方に位置し、感覚上皮域に対応している。ゼラチン層は、蜂の巣状の穴を持ち、感覚細胞の感覚毛がその穴に嵌入している。クプラ下網状層は細い繊維からなるゆるい網目状構造を呈し、感覚上皮域と移行部上皮域を覆っている。

感覚上皮の表面には、電子密度の高い細胞質の突出及び微絨毛の先端からの小胞の放出が多数観察された。また、クプラ下の空間 (クプラ下網状層と感覚上皮及び移行部上皮との間の空間) で突出物が崩壊している像が観察された。

移行部上皮細胞は、その表面に多数の微絨毛を持ち、細胞質中には粗面小胞体、ゴルジ装

置及びミトコンドリアが良く発達し、細胞間隙は比較的広い。これらの特徴は、蛋白質の合成、輸送を活発に行っている細胞の形態的特徴を示す。一方、微絨毛先端の膨出により形成される小球状分泌胞が細胞表面及びクプラ下の空間に多数観察された。これら感覚上皮及び移行部上皮の細胞表面に観察された小球状分泌胞や細胞質の突出物と、耳石及び耳石膜との位置関係から、耳石膜のゼラチン層は感覚上皮の突出物に、クプラ下網状層は小球状分泌胞にそれぞれ由来すると考えられた。

扁平上皮細胞の表面には、アポクリン型の分泌様式を示す多数の泡状分泌胞が見られた。扁平上皮細胞は非常に薄く、細胞質に乏しいが、時に、粗面小胞体やゴルジ装置が良く発達し、ゴルジ小胞や高電子密度物質を含んでいる細胞も観察された。これらの物質が泡状分泌胞の成分として内リンパ液側へ分泌されるものと考えられた。

Mt-細胞の細胞質は、ほとんどがミトコンドリアとそれを取り巻く滑面小胞体で占められ、細胞の基底部下には内皮に小孔を有する毛細血管が多数存在していた。骨鰾魚のキンギョと非骨鰾魚のティラピアの内耳におけるMt-細胞の分布を調べたところ、両種ともに三半規管膨大部、通囊及び小囊に密集して存在していた。またキンギョの横行管及び隔壁により独立しているティラピアの壺囊にも存在が認められた。しかし、独立構造をとらないキンギョの壺囊には観察されなかった。骨鰾魚と非骨鰾魚における分布の違いは、内耳組織の構造上の相違に対応していた。これらの形態及び分布の特徴から、Mt-細胞は内リンパ液のイオン調節に関与していると考えられた。

三半規管の膨大部稜は、形態学的に小囊の聴班と同様に、感覚細胞と支持細胞から成る感覚上皮を形成する。しかし、移行部上皮に当たる隣接する上皮の形態は扁平上皮と同じく非常に薄く、微絨毛を有する細胞はほとんど観察されず、小球状分泌胞も存在しなかった。膨大部稜の上にはゼラチン状のクプラが被っていた。これらの観察から、耳石の成長にとって移行部上皮の小球状分泌胞が重要な役割を果していると考えられた。

小囊の移行部上皮細胞の表面に観察された小球状分泌胞の量的日周変動を調べたところ、前方部と後方部では8:00に最も少なく、20:00に最も多かった。これに対して中央部では、2:00に最も少なく、その後直線的に増加し、20:00に最も多かった。この様に、いずれの部位においても明瞭な日周変動が認められたが、部位によりその周期性は多少異なった。

小囊及び三半規管膨大部の細胞表面に認められた分泌物及び耳石膜と耳石について、局所X線微量分析(EPMA)による元素分析を行った。その結果、すべての分泌物からリン、イオウ、カルシウムが検出された。小囊の耳石膜ゼラチン層からはイオウのみ検出されたが、膨大部のクプラからはリン、イオウ、カルシウムが検出された。両者とも感覚上皮の分泌物に由来すると考えられるが、ゼラチン層では、ある種の修飾機構の存在が示唆された。一方、耳石膜クプラ下網状層ではリンとカルシウムが顕著に多く、移行部上皮の小球状分泌胞にはイオウとカルシウムが多かった。長時間固定によりカルシウムを溶出させた耳石表面から検出されたのは、殆どカルシウムであり、相対的にリンとイオウは極く少量であった。クプラ下網状層は小球状分泌胞に由来し、耳石の有機基質として取り込まれると考えられたが、リンの取り込み量はイオウよりも相対的に少ないと思われた。小囊感覚上皮の細胞質突出物中に含まれるカルシウム量は、2:00に最も低く、その後高い値で安定していた。移行部上皮の前部と後部における小球のカルシウム量にも2:00に最低、14:00に最高という明瞭な日周変化が認められたが、中央部では殆ど変化がなかった。一方、扁平上皮の小泡状分泌胞中のカルシウム量は非常に少なく、一日中殆ど変化しなかった。

微絨毛に由来する小球状分泌胞が耳石の成長に必要な有機質とカルシウムを含むと仮定すると、移行部上皮に認められた分泌胞自体、及びそのカルシウム含量の量的日周変動は、日周輪の形成に密接な関連を有し、その形成機構を説明する上で極めて重要な現象と考えられ