MORPHOLOGICAL STUDY ON THE MEMBRANOUS LABYRINTH OF THE COCHLEA BY MEANS OF A PHASE CONTRAST MICROSCOPE

By
T. WATANABE

*From the Department of Oto-Rhino-Laryngology, Faculty of Medicine, Tohoku University,
Sendai (Director: Prof. Y. Tsuiki)*

By the use of a phase contrast microscope, the author examined the structure of fresh membranous labyrinth of guinea pig.

Observations were summarised as follows:

- 1) The inner and outer hair cells and their supporting cells were respectively separated from Organ of Corti by means of micro-surgical technique, and their fine structures were observed.
- 2) The basilar, reticular, tectorial and Reissner's membranes and vascular stria were respectively separated from cochlear canal. Their constructions were observed.
- 3) Particularly, hairs of sensory cells were examined in detail. It might be stated from this observation that the forms and distribution of hairs are different in respective portions of the spiral turn of cochlea.

The author concluded from the morphological observation described above, that the hairs of sensory cells play an important rôle in the analytic mechanism of sound frequency in the inner ear.

位相差顕微鏡による新鮮蝸牛膜様迷路の形態学的研究

東北大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：立木豊教授）

渡 辺 勤
ワタ ナベ ツトム

目 次

第1章 緒 言

第2章 研究材料及び方法

第3章 観察所見

第1節 Corti 器諸細胞の形態とその微細構造

第2節 蝸牛道を構成する各組織の俯瞰所見

第4章 総括並びに考按

第1節 観察所見の細胞組織学的検討

第2節 Corti 器の構造と、その音響刺激による変位に就いて

第3節 聴毛形態と周波数分析能に就いて

第5章 結 論

第1章 緒 言

聴器迷路の形態学的研究は、1852年 Corti 器が発見されて以来今日迄、主として組織学的立場から続けられてきたが、この間、Reissner, Deiters, Hensen,

Claudius 等の同名細胞の発見、Retzius の背椎動物聴器に関する広範な研究、更に Kolmer, Held, Wittmaack 等の詳細な検索があり、又1908年には Nager-吉井の生体固定法の改良等があった。そして約一世紀を経た今日においては、内耳組織構造の大構はほぼ解明された観がある。

しかしながら、複雑な立体構造を持つ迷路形態は、必ずしもこれだけで究明し得るものではなく、殊に聴覚機構の立場からその微細構造を追求する時、微小にして巧妙な迷路感覚装置の中に、未だ数多くの謎が秘められているのに気が付く。

このことは勿論、聴器構造の持つ複雑微妙さに起因しているが、反面従来の研究方法の限界をも指摘するものであつて、もはや固定切片標本だけでは、その充分な解明を望む事は困難である。特に聴器切片標本は、固定、脱灰、脱水及び包埋等の物理化学的諸操作を経て作られ

たものであり、そこに表現される所の組織像は、決して生体聴器の実体を現しているとは言えない。

まして生体細胞は約80%の水分を含むと云われており、これが脱水によつて迷路形態に与える影響は、蓋し甚大なものがあると思われる。

しかるに近年、我々は位相差顕微鏡の出現によつて、生の組織、生きた細胞の状態を、無固定、無染色のまゝで、比較的容易に且つ明確に観察できるようになった。

こゝにおいて私は、この位顕を応用して膜様迷路の生体構造の究明を思い立ち、先ず蝸牛迷路の組織細胞に就いてその新鮮時における状態を観察追求し、更にこれを従来の固定切片像と比較検討してみた。その結果、蝸牛組織就中 Corti 器の構造に関し、聴覚機構上興味ある幾つかの知見を得る事ができたので以下報告したい。

第2章 研究材料及び方法

実験には主として海眞、一部家兎を使用した。その蝸牛殻を、生体動物から直接、あるいは断頭後に摘出してリンゲル氏液に投入し、これを実体顕微鏡下に拡大解剖しながら迷路軟部組織を分離した(写真1)。

次にこれをスライドガラスの上に拾い上げ、リンゲル氏液、0.9~0.96%食塩水、海眞血清、脳脊髄液等で封じて新鮮標本とした。

検索には位相差顕微鏡を使用し、主として油浸拡大下に観察、撮影した。

以上の蝸牛殻摘出から撮影迄の諸操作は、常に迅速を旨として行つたが、他方細心の注意を以つて細胞損傷の防止に勤め、且つ充分な成果が得られる迄、実験を反覆施行した。

なお対照として、摘出組織の固定標本と、断頭及び生体固定法による連続切片標本とを作成し、上記新鮮標本との比較検討の要に供した。

第3章 観察所見

第1節 Corti 器諸細胞の形態と、その微細構造

外毛細胞：生体固定法によるツェロイゲン切片標本では外毛細胞の位置関係は良く判るが、その内部構造に就いては、胞体及び核の萎縮が高度なために殆ど窺ふことができない。

新鮮な外毛細胞を1.コだけ分離して位顕で観察すると、胞体は肥満円柱状を呈しており、核はほぼ球形で、又聴毛を始め細胞内微細構造物も明瞭に認められる(第1図、写真3)。

即ち、細胞頭部にはやゝ透明な感じを与える蓋板

第1図 外毛細胞

Deckplatte があり、そこからほぼ垂直に数本乃至数十本の聴毛が生えている。

胞体頭部、蓋板直下には、大小多数の顆粒が密集しており、その大部分はミトコンドリアと思われるが、中に1~数個の巨大な顆粒様物質が存在する。これが所謂 Hensen 氏小体か否かに就いては確認し得なかつた。

一方、細胞体中央部では、顆粒が細胞膜周辺にのみ偏在し、中心部は殆ど均質無構造に見える。

胞体下部には、ほぼ球形な核が位置しており、その内部には数個の核小体が認められる。

細部底部は、円錐状をなし、ここには Retzius 小体があると言われているが、位顕では多数の顆粒集団を認める。

なお、胞体下端の粒状突起物は殆ど常に発見され、神経繊維の終末部と思われる。

次に、外毛細胞の頭部を別の角度から観察すると写真4の如くである。即ちこれは Corti 器の最内側に位する外毛細胞の上半部であつて、蓋板の形態が良く判る。聴毛は焦点深度の関係で見えないが、蓋板は長楕円形をなし、その一端に弧状の切痕が見られる。又毛細胞の周辺には、外支柱頭板、ダ氏細胞茎状突起及び節板等が認められる。

内毛細胞：この細胞もほぼ円柱状をなし、蓋板や聴毛も認められ、外毛細胞と酷似した形態を取っている。

第2図 内毛細胞

しかし仔細に観察すると、明らかに外毛細胞とは異つており、その第1は、細胞体が短軀で、胞体下半部がやゝ膨大している事である。本細胞の輪廓は、普通切片標本では殆ど不明であり、新鮮標本でも細胞膜が薄く容易に変性するため、その正確な像は仲々捉え難い。写真5も既に若干の変性膨化を起している。

第2に蓋板が横楕円形で、外毛細胞に見られたような節板の入る切痕が認められない。

第3は、細胞内顆粒の状態で、外毛細胞のような特異的分布や巨大顆粒は発見されず、大体胞体内に均等に分

布している。

第4の相異点は聴毛であるが、これに就いては後述する。

ダイテルス氏細胞：この細胞は写真6, 7でも明らかな如く、おたまじやくしのような形をなし、外毛細胞を抱きかえるように位置しているが、これは 1) 体部、2) 茎状突起、3) 節 Phalanx の三部分から構成されている(第3図)。

第3図 ダ氏細胞と外毛細胞

細胞体部は、細胞下端の膨大した部分で、本細胞の主体をなしており、原形質に富み、中に円形の核と多数の顆粒を含む。

細胞体部上側方には下頭部と呼ばれるやゝ膨隆した部分があり、このところで外毛細胞底部を支持している。

細胞体部の上方は、急に細長となつて茎状突起に移行しているが、この突起は外毛細胞と同じ長さだけ上方に伸びて、最後に Corti 器の天蓋、即ち網状膜の節に続く。

節板は瓢車型をなし、隣接ダ氏細胞の節板と交互に結合して網状を作り、外毛細胞の蓋板を保持している(第5図参照)。

なお、ダ氏細胞内には一本の強靱な繊維束が縦貫しており、これは基礎膜に接する細胞底から発し、体部、突起部を上行して節板に入り、その中で扇状に開いて終わっている。

ダ氏細胞と外毛細胞との接合関係に就いて検索してみると、写真6でも明らかな如く、毛細胞蓋板とダ氏細胞節板とは強固に結合しているが、毛細胞底部とダ氏細胞下頭部との結合は極めて粗である。

而も一ケの毛細胞は、たゞ一ケのダ氏細胞によつて、その頭部と底部とを支持されているのではなく、毛細胞頭部を支持するダ氏細胞と、同一毛細胞底部を支へるダ氏細胞とは全く別個のものである。即ちダ氏細胞長軸は、毛細胞長軸に対し上方回転方向に1〜数個の細胞間隔だけ傾斜しており、このことは毛細胞長軸に一致した

切片標本で、ダ氏細胞が斜め切りになっていることから明らかである。

ヘンゼン氏細胞及びクラウゼウス氏細胞：ヘンゼン氏細胞は、ダ氏細胞に隣接して Corti 器の外側部を形成しているが、その間に外トンネル腔が介在するため、新鮮標本では他部と容易に分離することができる(写真8)。

細胞体は大型で長卵円形をなし、形質に富むが顆粒は比較的乏しい。細胞膜は極めて薄く、且つ細胞間の結合が密である。従つて細胞を一ケだけ分離する事は困難である。

本細胞に特異的な事は、細胞内に大小多数の強い輝度を持った球状物が存在することで、これは普通切片標本では見ることができず、時に空胞となつて残存する事もある。

実験的に70%アルコールを作用させると、比較的容易に溶解する。又 Sudan III で褐色に染まる。この事からこの球状物は脂肪滴と推測される。

脂肪球の分布は上方回転程多く、下方回転程少ない。又 Corti 器の外側縁の細胞程、多く脂肪滴を含んでいる。

一方クラウゼウス氏細胞は、蝸牛道外螺旋溝部を被う五角形の立方上皮で、顆粒に乏しいが形質に富み、甚だ脆弱な細胞で容易に変性変形する。核は球形で中に数ヶの核小体を含む。この細胞も又、Hensen 氏細胞と同じく、若干の脂肪滴を持っている。

柱細胞：柱細胞は、内外2例の細胞群からなり、Corti 器の主軸をなしているが、その構成は 1) 頭部、2) 柱部、3) 形質部の3部からなる。

形質部は、細胞底部に位し核を持った形質に富む部分であるが、極めて脆弱で且つトンネル腔底で基礎膜と接着しているため、新鮮標本では破壊が強く、その詳細な観察は困難である。

柱部はS字状の細長い形態をなし、その下端は三角形に膨大して直接基礎膜に固着しており、又内部には多数の微細繊維の縦走が認められ、これによつて強靱な構造を維持している(写真9)。

内外支柱細胞頭部はやゝ膨大して互に関節様結合をなしているが、この上をクチクラ性の頭板が覆っている(写真10)。

又外柱は内柱より長く、その基礎膜上における支点は、外柱が弓状帯にあるのに対し、内柱は非可動性の鼓室層先端に位置している。

第4図 支柱細胞

従つて内外2列の支柱細胞群によつて形成される三角形の所謂トンネル腔の上端は、若干蝸牛軸中心方向に偏しており、これを新鮮標本で立体的に観察すると、丁度竹矢来のように見える。又各支柱は密接して並んでいるのではなく、その間に間隙があつてトンネル腔と又エル腔との交通を保つている。

網状膜：Corti 器の上縁は、クテクラ性の網状膜で被われているが、これを構成するものは、内毛細胞蓋板、内外支柱頭板外毛細胞蓋板及びダ氏細胞節板である。換言すると頭板及び節板で形成される輪状枠の中に、毛細胞蓋板が陥入支持された形をとつている（写真11）。

内毛細胞蓋板は横楕円形でやゝ大きく、外毛細胞蓋板は長楕円形でその両端に弧状の切痕があり、丁度ビール樽のような形をなしている。節板は外毛細胞蓋板の間に介在して瓢車型をなし、隣接節板及び蓋板切痕と巧みに組合さつている。又内外支柱頭板は方形をなしており、外支柱頭板は長方形で大きく、内柱頭板は正方形で小さい。

一般に海狸や家兎では、内毛細胞は1例、外毛細胞は3列存在し、これ等は支柱頭板やダ氏細胞節板と共に交互の規則的配列を示している。そして蓋板や頭板の大きさには、ある一定の関係があり、これを特定の帯域に存在する細胞数から比較すると、次ぎの如くである。即ち内毛細胞蓋板が2ヶ並ぶ間に、これに対応する内柱頭板の数は、丁度2倍の4ヶであり外柱頭板は3ヶ。外毛細胞蓋板も又3ヶである。

第5図 網状膜

一方位置の関係にも規則性があり、例えば第1列外毛細胞は、必ず相隣る二つの外柱頭板の中間に位している。

聴毛形態とその分布：位頭の焦点を網状膜から若干上方に移動させると、感覚細胞の聴毛が浮きでてくる（写真12）。

その際聴毛の発生状態は、各毛細胞に共通な点もあるが、その数や形態は、毛細胞の種類及び蝸牛回転上における位置によつて、著しく異なる。

今説明の都合上、網状膜における外毛細胞の位置関係を、内毛細胞側から Hensen 氏細胞側に向つて、第1、第2、第3外毛細胞と呼称する。

第6図 聴毛の形態・分布

A) 外毛

1) 先端回転：第1外毛細胞では、10数本の長毛が緩い弧を描いて配列しており、その長さは約 6μ 、太さ $0.1 \sim 0.2\mu$ と実測される。又、弧の内側には $2 \sim 3\mu$ の短毛が、ほぼ同数存在するのが認められる（写真13）。

第2外毛細胞では、聴毛の数は少くなり10本前後しか数えられず、短毛の存在も不確実である。しかし聴毛自体は第1細胞のものより長く、且つ太くなり、約 7μ の長さを有する。第3外毛細胞の聴毛は、6～8本で最も少く、又長さは約 $8 \sim 10\mu$ あり、全聴毛中最長である。

2) 中央回転：先端回転に較べ聴毛の数が急激に増加し、反面聴毛の長さは減退し且つ発毛状態も変てくる。即ち第1細胞列では、聴毛は二列に並び、その配列は逆V字型で、数は各列25～40本、計50～80本と推測される。又聴毛の長さは $3 \sim 4\mu$ で、先端回転の同列細胞より短い（写真14）。

第2細胞列では、逆U字型の配列となり、第1細胞列より聴毛は太く、且つ長くなつて数も減少している。

更に第3細胞列では、聴毛の配列は弧状となつて、数も減少して50本以下となるが、長さは $4 \sim 5\mu$ あり、

第1, 第2の細胞のものより長い。

3) 基礎回転: 基礎回転になると聴毛は極端に短かく、且つ細くなつて、殆ど点状に見える。聴毛の長さの実測は困難であるが、大体 $1\sim 2\mu$ と推定される。その配列は写真15の如く、三列の逆V字型をなしており、数は100~150本数えられる。

一方、この回転では上方回転に見られたような、各細胞間における聴毛形態の差異は余り顕著でなく、目下の所、判然とした知見は得ていない。

B) 内毛

内毛も内毛細胞蓋板からほぼ直角に発生しているが、その配列状態は写真16の如くで、楕円形蓋板を横断する緩い弧を描いており、これ等の弧は、外毛と同じく、蝸牛軸中心に向つて展開している。一般に内毛は外毛に較べ、遙かに長く、且つ太い。しかし上下回転別の差は少なく、その長さは上方回転で 7μ 、下方回転で 6μ 程度であり、数も上方で20本、下方で30本と推測される。

一方、上記聴毛の内側に、これと平行してほぼ同数の 2μ 前後の短毛が配列しているのが認められた(写真17)。

第2節 蝸牛道を構成する各組織の俯瞰所見

基礎膜: 基礎膜の横断面を切片標本で見ると、前庭階被層、繊維層、鼓室階被層の三層からなっている。新鮮標本では、この膜の俯瞰像が得られ、繊維層と鼓室階被層とが見られる。

即ち繊維層は放線状に走る細長な原繊維と、その間隙を埋める透明な基質とからなり、全体として強靱な薄膜を形成している。この繊維層を透して鼓室階被層の結合組織細胞が見られるが、この細胞は紡錘形をなして輪状に配列しており、放線状繊維とは互に直角に交叉している(写真18, 19)。

蝸牛全体から見れば、基礎膜は螺旋状の一つの長い帯であるが、その幅即ち放線状繊維の長さは一定ではなく、私の実測では尖端回転では 200μ 、基礎回転では 50μ 程度である。

コルチ膜: この膜は前庭唇を基点として、蝸牛道中央に傘状に展開したかなり厚い膜であるが、その先縁はCorti 器の聴毛と接しているものと思われる。新鮮標本で俯瞰すると、放線状に走る多数の繊維と、その間質とから構成されており、膜の下面は中央を一本の太い線が横断している。即ち Hensen 氏線状と呼ばれるものである(写真20)。

放線状繊維は一見太い繊維束のように見えるが、仔細

に観察すると、極めて細い繊維が互にもつれ合つて縋をなしたものであり、その走向は、蝸牛上方回転方向に $10\sim 20$ 度の傾きを持つている。又、これ等の繊維は最後に集束して強靱な繊維束となり、コルチ膜の外側を縁取っている。一方コルチ膜辺縁には網状の繊維構造が見られるが、これとは別に、聴毛と接する膜の下面にも網状構造が認められる(写真21)。

脈管帯: 脈管帯組織を剥離分離して新鮮標本となす事は容易である。しかしこの組織は、上皮と上皮下との結合が強固で、薄い標本を作る事が困難である。従つて位相効果が不充分となり、他の組織のような鮮鋭な所見が得られない。しかしながら、上皮下組織に就いては、その俯瞰像から、多数の血管の蛇行しているのが観察され、且つ赤血球の移動するのが見られた(写真22)。

ライスネル氏膜: この膜は、新鮮状態でもかなり広範屈に亘つて無傷に分離する事ができ、而も細胞層が薄いため、位頭でも相当鮮鋭な像が得られる。即ち、ラ氏膜は、一層の扁平な上皮性細胞からなり、これ等は規則正しい且つ緻密な配列をなしている。細胞形態は大体五角形で、中に楕円形的大型な核を含み、形質はほぼ均質で顆粒に乏しい。各細胞間の結合は強固で、その間になん等の間隙も見当らず、膜自体もかなり強靱である(写真23)。

第4章 総括並びに考按

位頭による膜迷路の研究は未だ少く、僅かに de Vries, 勝木・Corell 等数人の報告を散見するに過ぎない。即ち de Vries (1949年), Hildung (1951年) は、コルチ膜の構造に就いて追求し、勝木・Covell (1953年), 山口 (1956年) は、海狗蝸牛迷路細胞の新鮮形態に就いて観察した。私も先きに神岡と共に本研究の一部を報告したが(1955年)、これ等の記載を通覧するに、一概に内耳組織の新鮮像と云つても、その記録された細胞像は必ずしも一様ではなく、形態的にも相当のずれが認められる。このような所見の不統一は、元々微細脆弱な組織を内耳骨内から分離して、生の儘観察しようとする実験方法自体にも難点があるが、その多くは新鮮標本作成時の組織細胞の損傷と所謂死後変化による細胞変性とに起因している。

しかしながらこれ等の欠陥は、顕微解剖技術の熟練と、実験の反覆施行とによつて、あるいは又死後変化を逆に追求する事によつて、ある程度防止する事ができる。幸、私は本実験において、蝸牛膜様組織を迅速に摘出し、且つ比較的無傷な状態で観察する事ができたと信

じている。

一方、同一組織細胞でも新鮮像と固定切片像とでは、著しくその所見を異にする。これは新鮮標本の持つ特異的性質に由来するもので、第1に標本が無固定、無染色であること、第2に切片標本では蝸牛の縦断面をその主なる検索面としていたのに対し、新鮮標本では直接俯瞰する立場をとった事。

第3に位顕の光学的特性が標本検索上、長短両様の影響を与えた事。

等が、その主なる原因である。

そしてこれ等の事は、一面新鮮標本の大きな欠点でもあるが、反面切片標本では得られない長所でもあり、その故に従来兎角等閑視されていたことや、切片標本で確認し難かつた色々な形態学的事実を把える事ができた。

次ぎに、前記観察所見に就いて、先人の記載と照しながら検討考察を加えてみる。

第1節 観察所見の細胞組織学的検討

感覚細胞に就いて：外毛細胞が円柱状をなし、その頭部に蓋板や聴毛を有する事は、Corti 器の発見当初から知られていた。しかし実際に切片標本でこれを見ると、細胞体の萎縮が高度で、その外形は円柱状と云うよりは、むしろ桿状をなしているのが普通である。この点、前記新鮮標本で得た所見は、先人の記録に比較して、より詳細且つ自然に近い形態であると推測される。

蓋板に就いて、Engström は電顕的検索をなし、均質無構造なクテクラからなり、その辺縁は楔状をなすと述べているが、私は、外毛細胞蓋板が均質透明な楕円板で、その両端に節板の陥入する弧状の切痕のある事を知った。

又、細胞内顆粒の状態に関し、岩佐は、外毛細胞の顆粒が細胞膜周辺にのみ偏在する事を明らかにしたが、斯かる顆粒分布の特異的状态は、私の位顕像でも確認された。

所で、1872年 Hensen は、外毛細胞頸部に Hensen 氏小体なるものを発見したが、これに就いて Wittmack は数ヶあるとの見解をとり、Engström は螺旋層状構造をなすと記載している。私も胞体頸部に数ヶの巨大顆粒状物を認めたが、その実態は把握できず従つてこれが所謂 Hensen 氏小体であるか否かは断定し得なかつた。

又、Retzius は外毛細胞底部に同名の封入体の存在を記載しているが、私は特に Retzius 小体と云つた構造物は発見できず、たゞこの部に一致して、多数の顆粒集

団を認めたに過ぎない。

一方内毛細胞の形態に関して、勝木・Covell は球形をなすと述べ、Eckert-Möbius は細胞下部の球状膨大を認めている。しかし私の観察知見からすれば、内毛細胞は短円柱状であり、球形あるいは細胞下部の高度の膨大所見は、むしろ変性に基く二次的形態であると推測される。

又、前記検索知見から内毛細胞の微細構造を外毛細胞と比較してみると、次ぎの如くである。

1) 外形が外毛細胞の長円柱状に対し、短円柱状である。

2) 蓋板は外毛細胞の縦楕円形に対し、横楕円形である。又弧状の切痕は認められない。

3) 聴毛は外毛より一般に太く長く、且つ回転別の差が少ない。

4) 細胞内顆粒の分布に特異性がなく、又外毛細胞のような特種な封入体が存在しない。

等である。

以上、感覚細胞に就いて得られた形態学的知見は、就中内外毛細胞の構造上の差異は、次ぎに述べる聴毛形態の特異性と相伴つて、内外毛細胞の機能的相異を暗示する重要な所見と云えるであろう。

聴毛の形態分布に就いて：聴毛形態に関する知見を文献的に拾つてみると、古く Kolmer は、下等動物の聴毛は8~12本、高等動物や人間では100本以上であると述べ、Retzius は、その長さを1~2 μ とし、これ等が弧状の配列をなす事を図示した。

又1326年 Held は、聴毛の長さが蝸牛部位によつて異なる事を指摘した。最近勝木は位顕で聴毛が逆V字型に生えている事を観察し、山口はこれを逆U字型と表現している。更に Engström や中山は、電顕的に3~4例の聴毛を記録し、その長さが4 μ で、各聴毛の中に1本の心のある事を証明した。

しかしながらこれ等の記載は、聴毛の長さ、数、あるいは配列状態等、報告者によつて皆異つている。

私も偶々、聴毛の形態に関し前記観察所見を得る事ができたが、それを今総括して述べるならば、次ぎの如くである。

先ず外毛細胞では

第1に、聴毛の長さや太さが、各回転によつて、又同一回転でも細胞列によつて異なる事、即ち上方回転のもの程長く、且つ太く、下方回転のもの程、細く短かい。又外側細胞列程、長く太くなっている事。

第2に、聴毛の数は、上方回転程少く、下方回転に行くに従い増加する。又同一回転でも外側細胞列程少く、内側細胞列程多い事。

第3に、これに伴い聴毛の配列型が、上方回転から下方回転へと移行するにつれて、弧→逆U字→逆V字型と変型し、且つ聴毛の列数も1, 2, 3列と増加する事。等を知った。

又、内毛細胞の聴毛に就いては

- 1) 一般に外毛に比し、著しく太く且つ長い事。
 - 2) 而もその回転別の差は僅少である事。
 - 3) 又、数や配列型も、各回転により大差がない事。
- 等を知った。

更に、一部の外毛細胞や内毛細胞においては、上記長毛の内側に、これと平行して短毛の存在する事を発見した。

又、面白い事に、これ等聴毛の弧状配列は、内外毛細胞の体位、方向に関係なく、総て蝸牛軸中心に向つて開いている事に気付いた。

以上私の得た所見は、今迄聴毛形態に関し一見統一を欠くかに見えた前記先人の記載も、局部的には夫々確かな実験記録であつた事を証明しており、又、聴毛の長さが蝸牛部位によつて異なると云う Held の指摘が、將に当を得たものであつた事を実証している。

斯かる観点から総合的に判断すると、蝸牛内に展開する約3万の毛細胞は、1ヶ1ヶが各々独自の聴毛形態を有し、且つこれ等は一定の法則の下に整然とした分布を示していると推測される。

ダイテルス氏細胞

この細胞の形態に就いて、山口は梨子状をなすと述べ、勝木・Covell はフラスコ状と記載している。私はこの細胞の微細構造を、体部、突起部、節板の3部分に分けて検索したが、その全体の形に就いては、むしろおたまじやくしようと形容したい。

又、Retzius は細胞内に1本の繊維束を発見したが、私も細胞底部から発して節板に至る細胞内繊維を確認し、これによつてダ氏細胞が保強、強化されている事を知った。

一方、毛細胞とダ氏細胞との関係に就いても追求し、外毛細胞の支持構造は、数ヶのダ氏細胞の立体的交錯によつて作られるもので、このためダ氏細胞は蝸牛軸方向のみでなく、上方回転方向にも一定の角度をもつて傾斜している事を明らかにした。そしてこのダ氏細胞の傾斜は、基礎膜の上昇によつて更に高度になるものと考えら

れ、これによつて、網状膜は、基礎膜の上下動に対し、水平方向の変位をするものと見做される。

ヘンゼン氏細胞

成書に従えば、この細胞は Corti 器の支持細胞とされているが、新鮮時には感覚細胞及びダ氏細胞群との結合が弱く、容易に分離される。又細胞膜も脆弱で形質に富み容易に変性を起す：この点私は、Hensen 氏細胞を支持細胞と見做す従来の見解には、若干の疑問を感じる。

所で1906年、Wittmaack は、オスミウム酸を使用して Hensen 氏細胞内に脂肪滴の存在する事を指摘した。その後 Zytowitch, 中村, 細谷等がその証明を試み、1921年下平, 万城目はマルキー氏法で、渡辺, 中道(1922年)は凍結切片において追求し、最近では山口が位顕で詳細な検索を行つている。

その結果、この脂肪滴は、人間や家兎にも見られ、特に海猿において顕著であるとされているが、しかし普通切片標本では消失しており、仲々証明し難いものである。

私も新鮮標本で、Hensen 氏細胞内に大小多数の強い輝度を持った顆粒を発見し、これが脂肪滴である事を、アルコール可溶性 Sudam III 易染性等から確認できた。又、この脂肪滴は Hensen 氏細胞の他に Clandius 氏細胞にも若干認められたが、同じ Hensen 氏細胞でも上方回転のもの程多く、又 Corti 器の外側寄りの細胞程多くの脂肪滴を含む事を知った。

所でこの脂肪滴はいかなる意味を持つものであるうか、少なくともその存在は無視できず、あるいは一般に単なる支持細胞と見做されている Hensen 氏細胞の真の機能も、実はこの脂肪の存在意義に懸つているのかも知れない。

支柱細胞に就いて

支柱内部を縦走する繊維群に関して、Held はその数を27本と記載し、Engström はその太さを 0.2μ と測定した。私もこの細胞内繊維が、支柱底部から頭部迄貫通しているのを観察し、支柱の保強的役を果たしている事を知った。しかし、この繊維は支柱底部で終つており、基礎膜との間に繊維の交換は行っていない。このことは基礎膜から分離された支柱下面の鋭利な断面からも容易に推測されるが、これは又、強大音響によつて Corti 器が蝸牛道内に投出されると云う河田, 新井の実験事実からも明らかな如く、Corti 器と基礎膜との結合の脆弱さを物語るものである。

一方、内外支柱細胞列は、Corti 器の中に所謂トンネル腔を形成しているが、その壁、即ち各支柱間には一定の間隔がある。これはトンネル腔と、ヌメル腔との間に、リンパの交流のある事を示すものである。

又、私は内柱と外柱とがその長さを異にし、而も内柱の支点が同じ基礎膜でも非可動性の鼓室層上にある事に気付いた。この事実は既に 1900 年 Ter Kuil によつて指摘されていたが、音響刺激に際して起る Corti 器の動態を考察する上に、見逃す事のできない重要な構造上の知見である。

網様膜に就いて

Eskert Möbius によれば、“網状膜は柱細胞頭板とダ氏細胞節板とによつて作られたクチャラ性の膜で、その中に外毛細胞蓋板の陥入する輪状枠を形成する”とされている。

このような構造は、切片像では殆ど観察し得ないが、本実験の如き分離法によれば、比較的容易に且つ正確な状態を把える事ができる。即ち私は、新鮮標本でその構造を目撃し、二つの興味ある事実を発見した。

その第 1 は、外毛細胞蓋板は決して円形でなく、その両端を瓢箪形をした節板に喰い込まれ、ビール樽状をなしていることである。この事は、従来等閑視されていたようであるが、外毛細胞の捻転を防ぐ巧妙な形態と考えられる。

第 2 は、支柱頭板及び毛細胞蓋板の結合関係と大きさに、一定の規則性のある事である。例えば、Corti 器の最内側に位置する第 1 外毛細胞は、必ず 2 ケの外柱頭板の中間に位置しており、第 2、第 3 外毛細胞は、これと交互に同数だけ配列している。又、内外支柱細胞の関係に就いては、Retzius が人間の 場合蝸牛全体で内柱は 5600 ケ、外柱は 3800 ケあり、その比は 3:2 と述べているが、私が海猿の網状膜から得た知見では 4:3 であつて、これに伴い、内外毛細胞の比も 2:3 であつた。即ち内毛:内柱:外柱:第 1 外毛:第 2 外毛:第 3 外毛細胞の配列状態は、蝸牛末端を除けば殆ど規則的であつて、細胞数の比は 2:4:3:3:3:3 と見做す事ができる。

基礎膜に就いて

基礎膜の主体をなすものは繊維層であり、これは音圧、即ちリンパ圧変動の感受装置として興味深い構造を有する。新鮮標本で俯瞰してみると、均質なパテ様物質の間に、原繊維が一定の間隔を保つて緊張しており、全体として螺旋状に展開する薄膜を形成している。この繊維は聴弦と呼ばれ、Helmholtz の共鳴説の根拠をなし

たものであるが、Retzius はその数を 24000 本と数えている。

私も基礎膜を回転別に採取して観察し、各繊維の長さが上方回転程長く、下方回転程短くなっている事を確認した。

又、本実験で、聴弦が放線方向に走っているのに対し、鼓室階被層の結合織が、これと直角に交叉する輪状配列をなす事を知つた。

このことは、基礎膜が単なる原繊維の配列ではなく、膜としての形態をとつている事を現すもので、その構造から見ても Helmholtz の云う原繊維単独の振動と云う事は考え難い。

コルチ膜に就いて

Corti 膜が放線状の繊維構造を持ち、その中央下面に Hensen 氏線条のある事は、Hensen, Retzius の昔から知られていた。又、Kolmer, Held は Corti 膜の最外側縁に所謂 Randfaser-Netz の存在することを認めている。一方 Hardesty は、豚の Corti 膜裏面に accessory tectorial membrane なる網状構造のある事を述べ、de Vries は Corti 膜表面は marginal net で被れ、これは位頭で始めて見出し得るものと述べている。

私も位頭で、Corti 膜が放線状繊維とその間質からなり、辺縁に網状構造のある事や Hensen 氏線条の存在する事を確認したが、特に放線状繊維に就いては、微細原繊維が擦れて集束したものであることや、それが上方回転方向に 10~20 度の角度を以つて走っている事等を知つた。

所で Corti 膜で最も問題にされていることは、Corti 器との関係である。即ち Corti 膜と聴毛とは

- 1) 全く離断している
- 2) 単に接触している (de Vries, Mygind)
- 3) 接着している (Kolmer, Held, Hardesty)
- 4) 結合している (Schambau, Prentis, Wittmaack, Hildung)

のいずれの状態にあるのか、と云う事である。一般的には音刺激時のみに接触すると見做されているが、形態学者の大部分は、接着若しくは結合があるとの見解を示している。特に Schambau や Wittmaack Held は、Hensen 氏線条を以つて、境界細胞 (Gretz Zellen) と附着すると考えている。

私もこの問題に就き、若干の検索を行つてみたが結論は得られなかつた。しかし、1) 切片標本では Corti 膜と聴毛とが接触している場合が多い事、2) しかし新鮮標本では両者が容易に分離される事、3) 而も分離され

た Corti 膜には、聴毛の附着、残存がない事等から、私は、Corti 膜と聴毛とは、生体時には接着しているが、しかし Wittmaack の云う如き強固な結合はないものとする。

脈管帯に就いて

脈管帯は機能的に見て、内リンパ液の成生分泌に関係する場所として、Guild, Schambau, Wittmaack 等によつて多年論争されてきた所であるが、形態的に見ても、多数の終末血管の存在する事や、上皮細胞の特殊性等から注目されている組織である。しかしながら新鮮標本では組織自体が厚く剝離されるため、上皮細胞に就いては充分な検索をなし得ず、僅かに終末血管の走行の観察に留つた。

これに関連して L. Katz (1891) の論文が想起される。即ち彼は、脈管帯上皮細胞は besen börmig なもので、基底に向つて多数の原形質突起を出す事を明らかにしたが、最近中山も電顕でこの事を実証している。このような上皮細胞の形態は、云わば、皮下組織に根を生やしているようなもので、このために本実験でも上皮層全体が厚く剥れたのかも知れない。

ライスネル氏膜に就いて

Retzius によれば、Reissner 氏膜は一層の内皮系細胞と一層の紡錘形をした上皮とから成ると云われ、我々も切片標本で容易にその横断面を観察し得る。しかし、この膜の俯瞰像に就いては、従来余り記載されておらず、僅かに山口の報告を見るのみである。

私は、この実験で、ラ氏膜が中央に大型の楕円形核を有する五角形の扁平な上皮細胞からなる事を知つた。そしてその配列は一層に過ぎないが、かなり緻密なもので、細胞間には何等の間隙形成も見られなかった。このことは、ラ氏膜が内外リンパ液の完全な隔壁として働いていることを示すものである。しかし、この膜が結締織性でなく上皮性からなる事は、ラ氏膜が単なる隔壁として存在するのではなく、そのところには内外リンパ液の滲透、透過に関連した何等かの機能を有する事を示唆している。

第2節 Corti 器の構造と、その音響刺激による変位に就いて

以上私は、蝸牛組織の個々の構成要素に就いて細胞学的立場から考察を加えてきたが、次ぎにこれ等の知見を総括して、Corti 器の構造を音響感受装置と云う立場から検討してみる。

Corti 器は感覚細胞と支持細胞とからなる上皮系組織

ではあるが、その形態構造は甚だ特異的で、多分に機械的な要素を持つている。その特徴を列記すると、

第1は、Corti 器の支持装置繊維系の存在であり、第2は感覚細胞の支持構造である。第3に内外支柱の形態と位置、第4にコルチ膜と関連した聴毛形態の特異性等が挙げられる。

第1の支持繊維系に就いては、Held が

- 1) Allgemeine Tragbogen
- 2) Basal Stützen dieses Tragbogens
- 3) Basal besondere Stützen der Haarzellen

の3つに分類している。

1) は、内柱、最外側ダ氏細胞及び網状膜によつて形成される弓状の繊維系で、Corti 器の外柱に相当し、2) は、外柱及びダ氏細胞による Corti 器の内部保強繊維で、3) は、ダ氏細胞側頭部に分枝した外毛細胞の支持繊維である。

私も前記実験において、内外支柱、ダ氏細胞及び網状膜等の微細構造を追求し、Corti 器の独特な形態を維持するものが、これ等細胞内繊維やクテクラ性膜である事を知つた。そして Corti 器の支持繊維系に関し、第3の項を除き Held の考え方に全く同調するものである。殊に新鮮状態で見ると Corti 器の細胞は甚だ繊弱なものであり、それだけにこれ等の繊維系は、Corti 器の形態維持に重要な役をなすものと思われるが、更にこれ等の繊維は Corti 器に弾力を与え、且つ音圧による Corti 器の変形を速かに復元させる原動力になつていとも考えられる。

Corti 器の構造上、興味ある第2の点は、感覚細胞の支持装置である。これに就いて Held は繊維系の支持構造を考えているが、私の前記知見を総合すると次ぎのようになる。即ち、毛細胞頭部は蓋板を以つて網状膜の中に陥入しているが、そのところには強固な結合はなく、蓋板の一端を以つてダ氏細胞節板と結合しているに過ぎず、蓋板の蝶番様運動を可能にしている。又、毛細胞底部は、ダ氏細胞下部に支えられているが、その間の結合は弱い。而も同一毛細胞の頭部と底部を支えるダ氏細胞は、全く別個のものである。一方細胞体壁は隣接細胞と接触する事なく孤立しており、その周辺はヌエル腔となつてリンパが満されている。かかる毛細胞の支持構造は、感覚細胞の可動性を推察させるものであるが、しかしその捻転は、蓋板の弧状切痕によつて巧妙に防止されている。又、若しトネル腔のリンパに何等かの変動が起れば、その影響は直ちにヌエル腔のリンパを介して

直接毛細胞に働き、毛細胞自体の運動あるいは圧縮を惹起するとも考える。

Corti 器の第 3 の特徴は、内外支柱の形態と基礎膜上における位置である。即ち外柱が長く内柱が短い事、又これによつて Corti 器が半卵円形をなしている事は、唯れでも知っている。しかしその理由に就いては詳らかでない。又、外柱の支点は、基礎膜の最も可動性に富む所、即ち基礎膜のほぼ中央に位しているのに対し、内柱支点は非可動性の鼓室唇上にある。従つて基礎膜の振動によつて起る内外支柱頭部の変位は、単純な上下運動ではなく、内柱底部を支点として内支柱を半径とする円周上の運動を示すことになる。

第 4 の特徴は、Corti 膜と関連した聴毛形態の特異性であるが、これに就いては前述した。

以上の諸点から見て、私は Corti 器を単なる一塊の上皮組織とは思わず、むしろ音響感受のために作られた巧妙な機械と考え度い。

しからば、Corti 器は音響刺激に遭遇した際、いかなる変動を示し、いかなる機序において音を受感するものであろうか。

一般的には、基礎膜の上下動が直ちに Corti 器の上下動を促し、その際聴毛がコルチ膜との関連において圧迫刺激されると見做されている。しかし 1900 年 Terkuil は、内支柱の底部が非可動性である事に注目し、Corti 器は基礎膜の上昇によつて蝸牛内方に移動すると推定した。更に 1950 年 Neubert は、Corti 器の聴覚機構に就いて形態学的立場から考察を加え、蝸牛外リンパに伝えられた音圧は、結局蝸牛内螺旋溝内のリンパ圧を高め、これによつてコルチ膜と Corti 器の間にリンパ流が生ずるとし、こゝにおいて始めて聴毛が刺激されるものと考えた。又、Hilding は“聴毛は Corti 膜と接着している”との見解の下に、聴毛の被刺激時の状態に就いて検討し、基礎膜の振動に際して、聴毛の先端即ちコルチ膜附着側は前庭唇を中心に半円を描き、聴毛の根部即ち Corti 器側は鼓室唇を中心に半円を描くと想定した。そしてその半径の実測値から、基礎膜が上昇した際には、聴毛は圧迫ではなく逆に索引伸長されるものと推測した。

斯くの如く、形態学的見地から聴覚機構を考える時、音波によつて惹起される Corti 器の変動は、単なる上下振動ではなく、もつと複雑なものであり、従つて聴毛の刺激される機序に就いても再考の要があると思われる。そこで私も、前述の形態学的知見に基いて、音刺激

に際して起る Corti 器の動態に就いて一つの想定を下してみる(第 7, 8 図参照)。

第 7 図 無刺激時の Corti 器

第 8 図 音刺激による Corti 器の変位と液圧の移動

基礎膜が振動する際、その振幅の最大の部位は、形態学的に見て最も可変性に富む外支柱の附着部と考えられる。従つて基礎膜の上昇によつて、外支柱は上方に押上げられるが、その際内柱底部は鼓室唇上にあつて不変であるので、内外支柱頭部は必然的に蝸牛内方に移動する。これによつてトンネル腔内は狭小となり、その液圧は昇進するが、一部は支柱間隙を通つてヌール腔に達し、毛細胞体壁を直接圧迫して感覚細胞を励起状態に置く。

又、ダ氏細胞も蝸牛軸並びに上方回転方向に一定の角度をもつて傾斜しているので、基礎膜の上昇によつて網状膜が上方に移動する事は少なく、むしろ Corti 器は全体として扁平化し、内螺旋溝に向つて変形膨出する。その結果、内螺旋溝は狭小となり、該部のリンパ圧の上昇をきたす。そしてその圧の一部は、蝸牛螺旋に沿つて上下回転方向に逃れるが、なお一部はコルチ膜を上方に押し上げ、更に一部は Corti 器とコルチ膜の間を通つて内リンパ腔外方に向う。

所で無刺激時、換言すれば定位置にある時は、Corti 器とコルチ膜との間隙は狭くなつており、長毛はコルチ膜に圧されて蝸牛内側方に傾斜し、且つ短毛がこの長毛と交叉して、長毛の運動を阻止していると考えられる。しかし私は先きに、聴毛とコルチ膜との間に強固な結合はないが、接着あるものと見做したが、この見解に従えば、基礎膜の上昇によつて起る網状膜の内方移動とコル

チ膜の上昇とは、聴毛を垂直に立毛させ、且つ長毛と短毛とを並行にさせて、その交叉を解く結果になる。こゝにおいて聴毛は始めて被可動性の状態となり、内螺旋溝からの液圧の変動に対して反応同調を示し、その刺激を蓋板を通して細胞内部に伝達するものと考えられる。

斯く考えてみると、各感覚細胞の聴毛が蝸牛軸方向に向つて弧状の配列を示す事は、液圧感受に取つて誠に都合な形態と云わねばならない。

第3節 聴毛形態と周波数分析能に就いて

本研究で私は、聴毛の長さ、太さ、数、配列が、毛細胞の種類や蝸牛螺旋上における位置によつて、著しく異なる事を知り、而もその間に一定の規則性のある事を発見した。そしてこの事に就いては、既に第59回の耳鼻咽喉科学会総会において報告したが、席上、若しこの聴毛の状態を、適当な印なり記号で蝸牛螺旋上に画いてゆくならば、そのところに一つの地図ができ上るものと思ひ、これを Culler の蝸牛地図に倣ひ、聴毛地図と呼ぶ事を提唱した。

所で、今仮りに、前述の聴毛の状態を、全回転に亘つて模式化してみると、第9図の如くなる。そしてこの図から私は、ある種弦楽器の弦を連想し、その構造に就いて験べてみた。即ちグランドピアノの弦は

- 1) 低音程長く太く、高音程短かく細い。
- 2) 低音部は1本弦、中音部は2本弦、高音部は3本弦である。
- 3) 高音部の一部を除き、各弦に Dampfer と称する抑音装置が附いている。

と云う事を知つた。この構造は蝸牛内における聴毛の状態と極めて良く類似しており、特にピアノの弦が、音高によつて1, 2, 3本弦となつてゐる事は、聴毛の配列が蝸牛回転によつて1, 2, 3列をなす事と一致し、又ピアノに附いている抑音装置は、一部の毛細胞に見られた短毛の存在と対比させる事ができる(第6図参照)。

而してピアノの各弦は、各々が固有振動数を持つた優秀な発音体であり、若しその抑音装置を開放するならば、逆に共鳴弦として働き、固有振動数に一致した音響に対し共振共鳴を起す

斯かる観点に立つて聴毛の形態分布を見るならば、我々はこれを弦楽器の弦に例え、各聴毛は単なる刺激伝達の中介者ではなく、もつと積極的に各種音圧を分析感受する所の一種の共鳴弦であると見做す事ができないであらうか。

しかしながら聴器の周波数分析能に関しては、古くか

ら種々論議され、これに就いては多くの仮説が生れてゐるが、未だ聴毛に分析能を持たせて説いたものは見当らない。そこで先ず、今日迄に考えられてきた聴覚理論の中、主なるものを拾つてみる。

第9図 聴毛と周波数分析能

その第1は Helmholtz の共鳴説であるが、彼は基礎膜を縦走する繊維に意味を持たせて、周波数弁別能を説明した。これは極めて卓越した理論であるが、形態学的にも生理学的にも若干の根本的疑点を残している。

これに対し Ewald は、定常波による音像説を立て、Békésy は、進行波による渦流の生成を意味づけた。又 Wittmaack は、コルチ膜とコルチ器を完全に結合した一つの器管と見做し、所謂 Turgeszenz effekt で理解しようとした。

一方、Wever-bray は、音刺激に際して起る蝸牛及び聴神経内の電氣的変動を証明し、Culler は、蝸牛電氣現象から、音高感受部位分布を、蝸牛地図として現わし、田崎はこれに若干の補正を加え、蝸牛上における音高感受の局在性を実証した。又 Galambos & Davis は、音刺激に対応する単一神経繊維の反応領野が、低音域に広い幅を持つてゐる事を証明し、Fletcher はこれ等電氣生理学的実験成績から、Space time pattern theorie なる考えを出した。更に最近、勝木は脳皮質の聴領野における音高感受部位の分布状態に就いて追求し、周波数分析に關し蝸牛より高次の場所を推定している。

しかしこれ等聴覚理論の大部分のものは、基礎膜全体の振動から周波数弁別能を考えたものであつて、複合音の分析能や、位相的影響の説明に難点があり、上記諸説を以つてしても音感覚の色々な現象を充分に理解することは困難であり、やはり蝸牛上により優秀な分析機構の存在する事が望ましい。

そこで私は本論文の最後に、前記解剖学的知見を統括して、内耳の音高弁別機構に就いて、一つの推測を下してみたい。

蝸骨を介して前庭階に伝えられた音波は、一つには蝸牛孔を経て鼓室階に達するとも云われ、あるいは Békésy の実験の如く進行波として一定部に停滞し、直接基礎膜を振動させるとも云われている。しかしいずれにせよ基礎膜を振動させる事に変わりはなく、ここに基礎膜における音高感受の局在が問題となる。

これに就いては、既に Helmholtz, Ewald, Békésy 等の生理学的実験があり、Fletcher, Zwislocki 等の数学的証明もある。又吉井, Wittmaack は、過大音響刺激を与えて、組織病変の発現部位が周波数によつて異なる事を病理学的に実証している。

そしてこれ等の研究は、その成績に若干の差はあつても、基礎膜上における音高感受の局在性と云う点では皆共通であり、私も形態学的立場からこれに同調する者である。しかし、そこには Helmholtz の説えるような意味の局在は無く、その振動帯域はもつと広範なものであつて、且つ幾つかの相接近した周波数を有する複合音に対してはこれを分解する能力はなく、合成音波形その儘の形で振動するものと考えたい。

次いでこの基礎膜の振動は、一つにはトンネル腔、ヌエル腔のリンパを介して、直接毛細胞体壁を刺激して感覚細胞の励起状態をもたらす、一つには Corti 器を介して蝸牛内螺旋溝内のリンパに伝達され、その液圧が Corti 器とコルチ膜との間隙を通過する際、聴毛を振動させる。この際、内螺旋溝内の液圧は、基礎膜と同じ合成音波形の変動を示すものと見做されるが、こゝで聴毛の形態分布が、周波数弁別並びに複合音の分析に結び付き、重要な意味を持つてくる。

若し、各聴毛の形態が、音響物理学的条件に合致しているものとするれば、夫々の聴毛は特定の固有振動数を持つ事になり、内螺旋溝からの液圧に対し撰択的に共振を起すものと考えられる。

即ち、内毛は全回転に亘つて長く太い。従つて内毛細胞は、蝸牛全域において、比較的低音に共振する。一方外毛は、回転別により、又細胞列別によつて長短の差が著しい。従つて外毛細胞では、低音から高音迄、各周波数に応じて共振し、その蝸牛上における感受部位は、聴毛形態から低音は上方回転、高音は下方回転と局限される。

換言すると、低音は蝸牛全域に亘つて感受され、それ

以上の周波数の音は、蝸牛回転に従つて局部的に感受される。

この事は、Culler, 田崎の Microphonics による Tone Localisation に関する実験成果と、ほぼ一致するが、しかれば、何故外毛細胞が全音域に共鳴するのに対し、全毛細胞は低音のみを感受するのであろうか、又、何故、内毛細胞は1列で、外毛細胞は3列（人間では3～5列あると云われる）も存在するのであろうか？

これに就いては、各毛細胞を夫々独立した共鳴器の配列と見做し、これに Ohm の法測を適合させて、複合音の分析と云う見地に立つて考えてみると、容易にその理由を説明することができる。

即ち、純音の場合は勿論問題ないとして、合音（複合音）の場合、先ずその基音（原音）を感受するものは内毛細胞であり、更にその上音を幾つかの段階に分けて撰択的に共振分析するものは、各列の外毛細胞である（第9図参照）。

とすれば、内外毛細胞及び聴毛の配列は、『聴覚は、単弦振動のみを純音として感じ、有らゆる音響（合音）をば、その分音（純音）に分解して感ずる。而してその総合として当該音響が知覚される』と云う Ohm の法測に、極めて良く適合した状態にあると云わねばならない。

而してこれ等の聴毛が、内リンパ液の強制振動によつて共振させられるものとするれば、特定の固有振動数を有する聴毛の外に、その周辺に存在する毛細胞の聴毛もある程度振動を強制される。そしてその各細胞における聴毛の共振によつて生ずるエネルギーの総和が、即ち、音の強さ、刺激の強さとなつて神経に伝えられるものと考え度い。

以上述べてきた事は、実験的に知り得た解剖学的知見から推察される聴覚機序に対する一つの解釈であつて、何等生理学的な実験根拠はない。而かもそこには幾つかの仮定が挿入されており、私は必ずしもこの仮説に固執拘泥するものではない。しかしながら、このように考える事によつて、一つには今迄疑問視されていた聴覚生理学上の諸問題を、特に高度の周波数弁別能、あるいは合音の分析機序と云う事を容易に説明できるし、又一つには、従来兎角説明困難であつた、あるいは無視されていた形態学上の意義を、例えば聴毛の特異形態、内外毛細胞の区別、内螺旋溝、トンネル腔等の存在理由等々に対し、比較的楽に意味付ける事ができる。又、近年急速に進歩した電気生理学の実験成果と比較し

ても、特に本質的な矛盾は認められない。殊に、音刺激に対応する単一神経繊維の反応領野が、低音域に広い幅を持っていると云う Galambos & Davis の仕事は、各細胞が夫々周波数分析能を持つとする私の主張と、一見相反するかの如く見えるが、この矛盾も、外毛細胞に行く聴神経繊維の走行が、上方回転方向に迂回しながら分枝すると云う Lorente de No の組織学的見解と対比して考えるならば、容易に解決される。

そしてこれ等の事は、上述の仮説が根本的な間違を犯していないことを示唆するものと信ずるが、しかしその確証は、今後のより詳細な形態学的解明と、生理学的な実験成果とに待たねばならない。

たゞ、蝸牛組織、特に Corti 器の形態をこのように考える事によつて、従来の聴覚理論が基礎膜に主体を置き、あるいは神経繊維の電氣的追求に専念していたのに対し、新たに Corti 器の重要性を強調し、例えば 1 本の繊維の走行、あるいは 1 ケの細胞の位置、形態にも、聴覚機構上見逃すことのできない意味のある事を主張するものである。

第 5 章 結 論

位相差顕微鏡を応用して、海猿の新鮮蝸牛膜様迷路に就いて、組織細胞学的な検索を行い、その所見を固定切片標本像と比較検討した。その結果

1) Corti 器の感覚細胞及び支持細胞を単独分離して、その新鮮時における状態を観察記録できた。

2) Corti 器を構成する各細胞間の位置的形態的關係を追求し、Corti 器の特異的構造に就いて、若干の知見が得られた。

3) 一方、オルチ膜、基礎膜、脈管帯、ライスネル氏膜に就いても検索を加え、その螺旋膜様構造を明らかにした。

4) 特に聴毛に就いては、感覚細胞を蝸牛回転別に採取して検索を加え、聴毛の形態分布が毛細胞の種類及び蝸牛螺旋上における位置によつて著しく異なり、且つその間に一定の規則性のある事を指摘した。

5) 以上の解剖学的事実に基いて、蝸牛の聴覚機構に対して考察を試み、聴毛が周波数分析機能と密接な関係にあるとの推測を附記した。

文 献

1) Bast, Eyster: Ann. Otol., 44, 792, 1935. 2) Bennet, Osterberg etc.: John Wiley & Sons, New-york, 1951. 3) Bethes: Handbuch der Normalen und Pathologischen Physiologie Bd II, 497, 1926.

4) Burlet: Handbuch d. Vergleich. Anatomie d. Wirbeltiere Bd II. 2.Hälfte, 1293, 1934. 5) Culler: Ann. Otol., 44, 807, 1935. 6) Davis, Lurie, Stevens: Ann. Otol., 44, 777, 1935. 7) Deiters: Untersuchungen über die Lamina spiralis membranacea. Henry et Cohen, Bonn, 1860. 8) Denker. Kahler: Handb. der Hals usw. Heilk., Bd 6, 1926. 9) Engström, Wersäll: Acta Oto-Laryng. 43, 1, 32, 1953. 10) Ewald: Pflüger Archiv, Bd. 76, 147, 1899. 11) Fletcher: Speech and Hearing in Communication, 1929. 12) Galambos, Davis: J. Neurophysiol., 6, 38, 1943. 13) Gu'd: Americ. J. Anatom. 39, 57, 1927. 14) Hal'pike, Rawdon-Smith: Ann. Otol., 46, 976, 1937. 15) Hal'pike: Acta Otol., 26, 145, 1938. 16) Hardesty: Am. J. Anat., 18, 1, 1915. 17) He'd: Untersuchungen über den feineren Bau des Ohrlabyrinth der Wirbeltiere, Bd. I. Leipzig, 1902. Bd. II, Leipzig, 1909. 18) He'd: Zeitschr. f. H-N-Ohren Heilk., 9, 279, 1924. 19) He'd, Kleinknecht: Pflüger Archiv d. ges. physiol., 216, 1, 1927. 20) Helmholtz: Die Lehre von den Tonempfindungen, Frieder. Vieweg & Sohn, 1913. 21) Henke, Lubarsch: Handb. der speziellen Pathologischen Anatomie und Histologie, Bd XII, Berlin, 1926. 22) Hensen: Arch. f. Ohrenheilk., VI, 1873. 23) Hildung: Ann. Oto-Rhino-Laryngo., 61, 355, 1952. 24) 細谷: 久保全書, 第 2 巻, 192, 1942. 25) Hughson: Ann. Oto-Rhino-Laryngo, 44, 777, 1935. 26) Iwasa: Folio Anat. Japon., 3, 313, 1925. 27) Katsuki, Covell: Laryngos., 63, 1, 1953. 28) 勝木: 生理学講座, 第 10 巻, 1. 29) Katz: Arch. f. Ohrenheilk., 31, 66, 1891. 30) 切替: 日耳鼻全書, 第 1 巻, 第 1 冊, 1, 1953. 31) 切替: 日耳鼻会報, 60 巻, 1786, 1957. 32) Kolmer: Handb. der Neurologie des Ohres (Alexander, Marburg), Bd. I, 1924. 33) Kolmer: Arch. f. Mikro. Anat., Bd 70, 1907. 34) Kolmer: Anat. Anzeig., 36, 281, 1910. 35) Lorente de No: Laryngos., 47, 373, 1937. 36) Lurie: Laryngos., 47, 418, 1937. 37) 水平: 位相差顕微鏡とその応用, 医学書院, 1952. 38) Mygind: Acta Otol., 35, 108, 1947. 39) 中道: 大日耳鼻会報, 26 巻, 355, 1920. 40) 中村: 大日耳鼻会報, 41 巻, 4, 5, 7 号,

1935. 41) *Neubert*: Zeitschr. Anat., 114, 539, 1950. 42) 恩地: 耳咽, 24 卷, 13 号, 1952. 43) *Prentis*: Am. J. Anat., 14, 425, 1913. 44) *Retzius*: Das Gehörorgan der Wirbeltiere Bd. I. II, Stockholm, 1926. 45) *Stevens, Davis*: Hearing, John Wily & Sons, 428, 1938. 46) *Stevens*: Recent Advances in Oto-laryngo, 84, 1949. 47) *Tasaki*: J. Neurophysiol., 15, 1952. 48) *Ter Kuil*: Pflüger Arch. g. Physiol., 79, 149, 1900. 49) 富田: 生理学講座, 第 10 卷, 1, 3. 50) *Tsuihi, Watanabe, Kamioka*: Tohoku J. of Exper. Med., 62, 137, 1955. 51) 立木, 渡辺: 日耳鼻会報, 58 卷, 臨時号, 150, 1955. 52) *de Vries*: Acta Otol., 37, 334, 1949. 53) 渡辺: 大日耳鼻会報, 26 卷, 349, 1920. 54) 渡辺: 大日耳鼻会報, 28 卷, 273, 1921. 55) *Wever, Bray, Horton*: Ann. Oto-rhino-laryngol., 44, 772, 1935. 56) *Wittmaack*: Zeitschr. f. Ohrenheilk., 51, 148, 1906. 57) *Wittmaack*: Zeitschr. f. Ohaenheilk., 54, 37, 1907. 58) *Wittmaack*: Arch. f. O-N-Kehlkopfkrankheit, 115, 1926. 59) *Wittmaack*: Acta Otolaryngol., 24, 397, 1936. 60) 山口: 日耳鼻会報, 59 卷, 1 号, 1956. 61) *Yoshii*: Zeitschr. f. Ohrenheilk., 58, 201, 1909. 62) 湯浅: 細胞学, 同文館, 1942. 63) *Zwislocki*: Acta Otolaryng. suppl., 72, 1948. 64) *Zollinger*: Am. J. Pathol. 24, 545, 569, 1948.

稿を終るに臨み、終始御懇篤なる御指導、御校閲を賜った恩師立木教授に対し、深甚なる謝意を表します。

又、神岡蘇二博士の御指導と中山和彦、鈴木孚両氏の御協力に深謝致します。

(原稿到着＝昭和 34. 4. 24 日)

渡 辺 論 文 付 図 (I)

写真 I 蝸牛殻内部

写真 2 Corti 器 (切片標本)

写真 3 外毛細胞 (位顯)
(1500×2倍)

写真 4 外毛細胞頭部と外柱頭板
(1500×2倍)

写真 5 内毛細胞 (1500×2倍)

写真 6 外毛細胞とダ氏細胞
(800×2倍)

渡 辺 論 文 付 図 (Ⅱ)

写真 7 ダイテルス氏細胞 (1500×2倍)

写真 8 ヘンゼン氏細胞
(1500×2倍)

写真 9 外支柱底部
(1500×2倍)

写真 10 内外支柱細胞頭板 (1500×2倍)

写真 11 網 状 膜 (800×2)

渡 辺 論 文 付 図 (Ⅲ)

写真 12 網状膜と聴毛 (基礎回転)

写真 13 外毛細胞聴毛 (尖端回転) (2000×2.5)

写真 14 外毛細胞聴毛 (中央回転) (2000×2.5)

写真 15 外毛細胞聴毛 (基礎回転) (2000×2.5)

写真 16 内毛細胞聴毛 (長毛) (中央回転)

写真 17 同左 (短毛) (2000×2.5)

渡 辺 論 文 付 図 (Ⅳ)

写真 18 基礎膜 (尖端回転)
(800×)

写真 19 基礎膜 (基礎回転) (800×)

写真 20 コルチ膜 (800×)

写真 21 コルチ膜の網状構造
(1500×)

写真 22 脈管帯 (800×)

写真 23 ライスネル氏膜 (800×)