

図1 耳の進化～魚～(サメの例)

可聴周波数 100～1,000 Hz

〔3〕加我君孝, ほか(編): 新臨床耳鼻咽喉科学 第1巻基礎編, 中外医学社, 2001〕

もありますが蝸牛はなく、耳石器の球形嚢で音を感じます。可聴周波数は 50～10,000 Hz です(図2)<sup>3)</sup>。爬虫類では、恐竜も爬虫類で三半規管と耳石器はありますが蝸牛はありません。代表的なヘビには耳小骨がありますが鼓膜はありません。下顎で骨導による音を感じて、音を耳小骨で増幅して内耳に伝えています。それも耳石器の球形嚢で音を感じており、蝸牛はありません。可聴周波数は 100～3,000 Hz です(図3)<sup>3)</sup>。次に鳥類ですが、耳介はありませんが頭部の横の羽毛の中に耳の穴があり、隠れています。鼓膜や中耳や蝸牛管もあり、だいぶ蝸牛らしくなっています。可聴周波数は 500～20,000 Hz です(図4)<sup>4)</sup>。最後に哺乳類ですが、可聴周波数はネコで

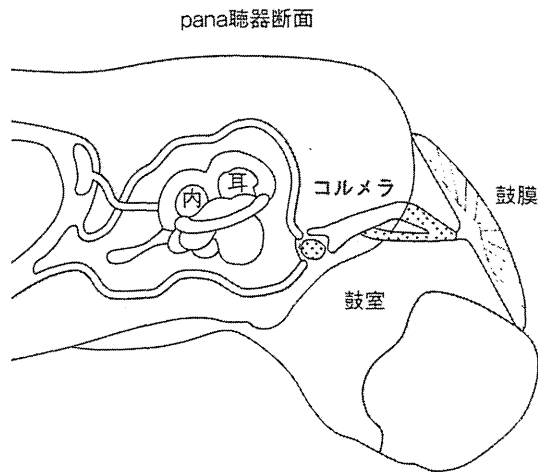


図2 耳の進化～両生類～(カエル)

可聴周波数 50～10,000 Hz

〔3〕加我君孝, ほか(編): 新臨床耳鼻咽喉科学 第1巻基礎編, 中外医学社, 2001〕

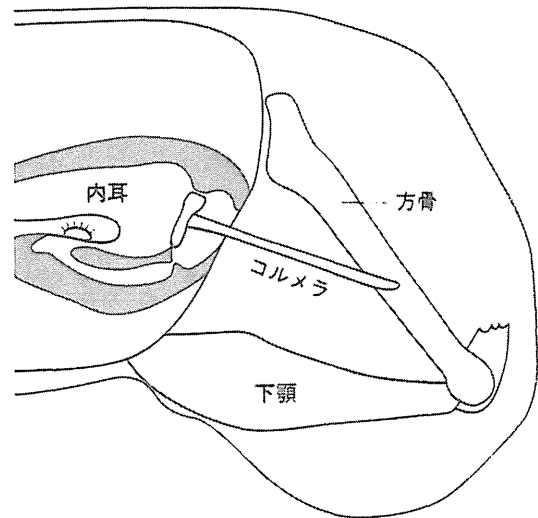


図3 耳の進化～爬虫類～(ヘビ)

可聴周波数 100～3,000 Hz

〔3〕加我君孝, ほか(編): 新臨床耳鼻咽喉科学 第1巻基礎編, 中外医学社, 2001〕

60～65,000 Hz, イヌで 15～50,000 Hz です。それぞれさまざまな耳介を持っていますが、蝸牛の回転数が

少しずつ異なり、低い周波数の声でコミュニケーションをとります。ゾウの可聴周波数は 20～10,000 Hz で

す。コウモリは空を飛びますが鳥類ではなく哺乳類で、羽のように見えるのはコウモリの手と考えられており、羽のように使っています。喉頭で超音波を発生し、echo locationを用いて他の動物や物体の位置を知ることができます。コウモリの可聴周波数は1,000~120,000 Hzです。ヒトでの可聴周波数は20~20,000 Hzでネコやイヌより狭くなっています。なぜこのように違うのか、ヒト

の内耳が進化したのか、はたまた退化したのかは不明です<sup>5)</sup>。

「個体発生は系統発生をくり返す」とは生物の原理の一つですが、ヒトの内耳の胎生期の発生がこれによく当てはまります(図5)<sup>6)</sup>。ヒトの胎生の数週間は、内耳は両生類と同様の形状で、胎生期から約2週間経つと、爬虫類と類似した形状になります。今度は蝸牛管は鳥のように棒状になり、最後にらせんのように巻

いて2.5回転の蝸牛となります。モルモットは4回転となり、超音波も聞こえます。

中耳の発生では、耳小骨は非常に早くから存在し、胎生13週でツチ骨、キヌタ骨が分化します。アブミ骨は真ん中に穴が開いているようになっていますが、最初はそうではありません。21週になって真ん中の部分がだんだん消えて、最終的に穴が開きます(図6)。中耳は生まれて初めて機能します。

蝸牛のコルチ器の発生は、胎生13週では基板というもののだけで単なる一つの管腔のようですが、胎生17週になると分化がかなり進み、一部にコルチ器の細胞の塊ができます。19週になるとそれが盛り上がって感覚細胞の分化が進み、新生児では普通のコルチ器と同じぐらいいになり、胎生期の24週でほとんど完成します。電気生理学的にも反応します。すなわちヒトでは形態も機能も生まれる前にコルチ器は形態も機能も完成しているのです(図7)。

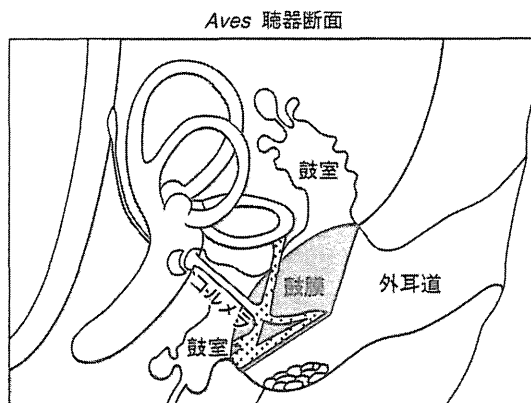


図4 耳の進化~鳥~  
可聴周波数 500~20,000 Hz  
〔3〕加我君孝, ほか(編): 新臨床耳鼻咽喉科学 第1巻 基礎編. 中外医学社, 2001]

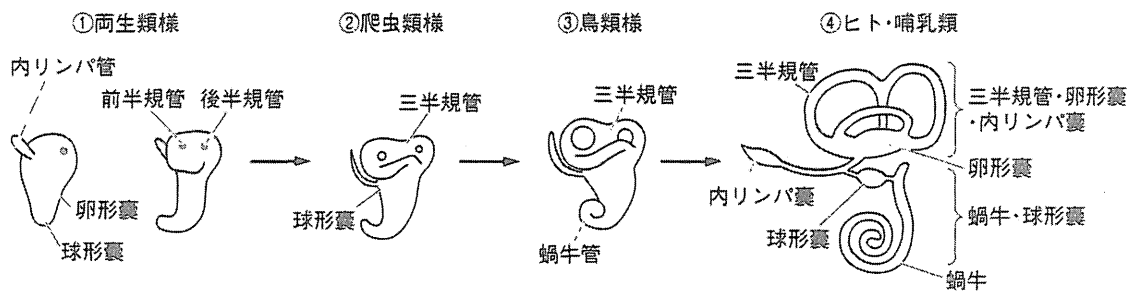


図5 ヒトの内耳の発生  
〔6〕野村恭也, ほか(著): 耳科学アトラス, シュプリンガー・ジャパン, 2008]

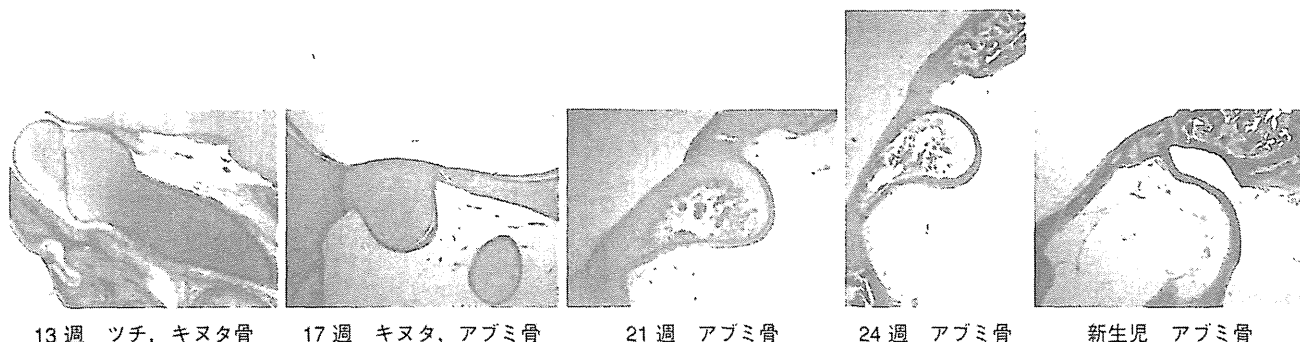


図6 ヒトの中耳の発生  
胎生期の耳小骨の発達

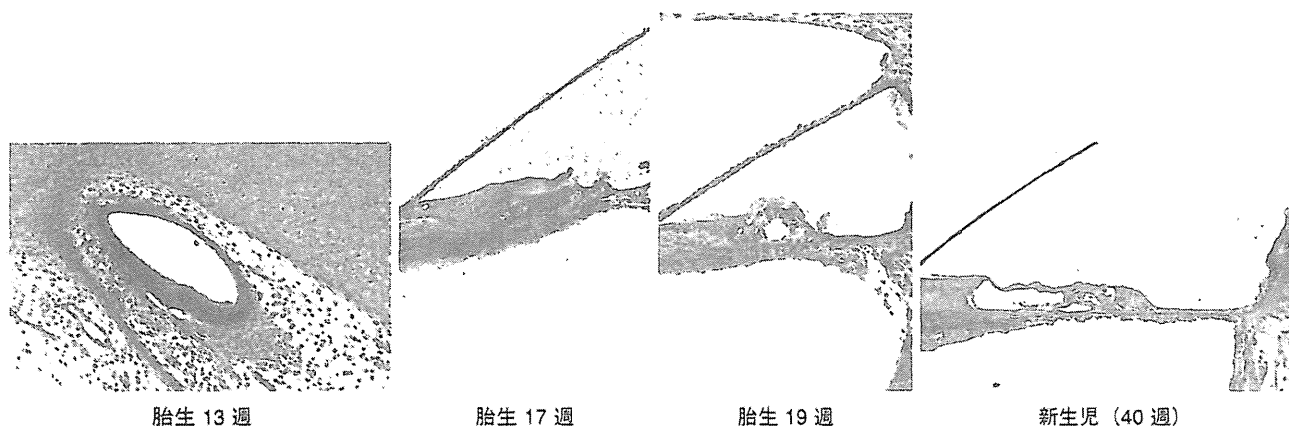


図7 ヒト蝸牛のコルチ器の発生  
胎生24週で完成する

新生児の蝸牛のサイズですが、現在人工内耳は生後1歳半から実施していますが、実は前述のコルチ器が完成する24週ですでに新生児も大人も同じサイズです。このような背景から人工内耳手術は生後1歳半から行っており、約30mmの電極が成人と同様に全部挿入可能です。

最後に聴覚の脳について説明をします。1920年のFlechsigの脳の発

達における髄鞘化の研究を紹介します<sup>7)</sup>。髄鞘化が進むほど黒く染まり、視覚神経系は聴覚神経系よりも早く髄鞘化が完成します。新生児のときには視放線は完成していますが聴放線の完成はずっと遅く、1歳を過ぎます(図8)<sup>8)</sup>。進化の樹に沿って考えると、魚類、両生類、爬虫類は中脳下丘が重要で、聴皮質は存在しません。鳥類の場合でも大脳基底核で聞きます。哺乳類で初めて

大脳皮質ができ、その聴皮質で聞くようになります。

脳の発生では髄鞘化が重要です。神経伝達速度が髄鞘化前(軸索)では、3~5km/時と非常に遅いのですが、髄鞘化後は毎時50~400km/時と速くなり、300km/時の新幹線よりもはるかに速くなります。髄鞘化の進行は、視覚と聴覚の中枢ではその完成年齢が異なります<sup>8,9)</sup>。

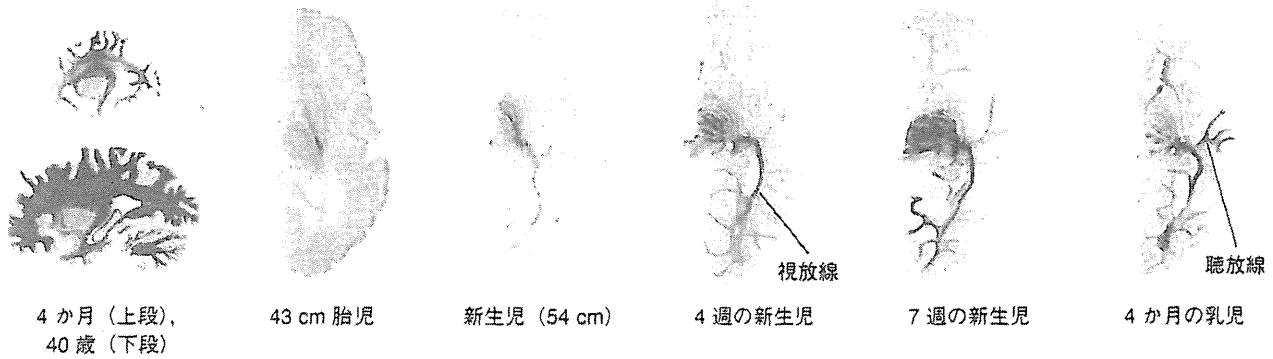


図8 Flechsigのヒトの脳の発達における髄鞘化の研究

①視覚神経系は聴覚神経系より早く髄鞘化が完成する

②神経伝達速度は髄鞘化前(軸索)では3~5 km/時、髄鞘化後で50~400 km/時

[8) Sano M, Kuan CC, Kaga K, et al : Early myelination patterns in central auditory pathway of the higher brain : MRI evaluation study. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 72 : 1479-1486, 2008]

## おわりに

現在はMRIを用いて、中枢聴覚伝導路および言語中枢の髄鞘化を脳の発達とともにフォローアップすることがわかります。私たちの研究では、中枢聴覚伝導路も言語中枢も難聴の有無にかかわらず、ほぼ古典的な研究と同様に脳の聴覚言語中枢の髄鞘化が完成することがわかりました。これは難聴児の場合、「脳は音刺激の届くことを待っている」ことを示しています。

## 文献

- 1) Darwin C : (渡辺政隆訳) 種の起源. 古典新訳文庫 光文社, 2009
- 2) Winston R : (相良倫子訳) 目で見える進化—ダーウィンからDNAまで. さ・え・ら書房, 2009
- 3) 加我君孝, ほか(編) : 新臨床耳鼻咽喉科学 第1巻基礎編. 中外医学社, 2001
- 4) Weber DB, Fay RR, Popper AN (ed) : The evolutionary biology of hearing. Springer, 1992
- 5) 加我君孝 : 感覚器の進化と言語と脳. 総合臨床 53 : 2595-2597, 2004
- 6) 野村恭也, ほか : 耳科学アトラス. シュプリンガー・ジャパン, 2008
- 7) Flechsig P : Anatomie des menschlichen Gehirns und Rückenmarks auf yelogenetischer Grundlage. Thieme, 1920
- 8) Sano M, Kuan CC, Kaga K, et al : Early myelination patterns in central auditory pathway of the higher brain : MRI evaluation study. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 72 : 1479-1486, 2008
- 9) Su P, Kuan CC, Kaga K, et al : Myelination progression in language-related regions in brain of normal children determined by quantitative MRI assessment. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 72 : 1751-1763, 2008



