

聴覚の生理的左右差

石津 希代子

日本大学大学院総合社会情報研究科

Physiological Asymmetry of Hearing Function

ISHIZU Kiyoko

Nihon University, Graduate School of Social and Cultural Studies

Behavior that gives priority to the ear on one side and uses it is in daily life. Why is there a difference of a right and left way to use the ear? The mechanism is not clear and there is a possibility of some causes. For instance, there is a functional difference of both ears, and the ear that had been decided by the handedness became a custom. In this paper, the researches of the right and left difference on aural at a physiological level are reviewed.

When we hear the sound, sound information is passed on to the cerebral cortex through the central auditory pathway in the outer ear and the middle ear and the inner ear. The outer ear and the middle ear and the inner ear have been completed in the form at the birth, and there is no right and left difference. However, it is known that both newborn babies and adults have a right and left difference in the auditory brainstem response and the otoacoustic emission. A right ear is dominant in the response of both parties. There are differences of the hearing function in the physiology in the inner ear and the brainstem level.

It is not clear how much of these physiological right and left differences influence the hearing function of both ears. It is an open question whether these differences are connected with the cause of the domination use in the behavior or not.

1.はじめに

手、足など左右対となる器官は、その使われ方に左右差があることが、よく知られている。一般に利き手、利き足といわれるこの現象は、字を書いたり、ボールを蹴ったりなど、一側を用いる動作において優先して用いられる。これは手や足だけでなく、耳に関しても同様であり、日常では電話の使用など片耳を優先して使用する行動としてみられる。なぜ、耳の使われ方に左右差が存在するのであろうか。

1 つには習慣的な使用によって左右差が生じていることが考えられ、利き手によって使用する耳が決定づけられたり、慣れや環境場面の影響などによって習慣的に使用する耳が決まっていたりする可能性がある。

もう 1 つの可能性として大脳機能による差が考えられる。私たちの身体の運動機能は、右半身を左大

脳、左半身を右大脳が司っている。大脳機能と利き側との関連はまだ明確にはなっていないが、利き側の存在にも大脳の機能分化が関与しているかもしれない。左右大脳半球の機能分化に関して、人において最も特徴的なものは「言語」である。多くの人で言語機能を司る言語中枢が左大脳に存在することが分かっている。左大脳に言語中枢がある場合、その約 95%が右手利きで、左手利きの場合も言語中枢が左大脳にあるものが 60~70%と多いが、右大脳、両半球にも、それぞれ 15~20%程度が存在するという(平山・田川, 1995)。左手利きは右手利きに比べ様々な様相を示すようであるが、右手利き、左手利きともに、左大脳に言語機能が側性化していることがほとんどのようである。このことから、耳の使用の左右差の原因を、言語情報の言語中枢への伝達効率から説明するものがある。つまり、左耳からの言語情報

は一旦、右大脳に伝達され、脳梁を介して左大脳の言語中枢に送られるが、右耳からの情報は直接、左大脳の言語中枢に伝達されるため、時間的に早く伝わり、左右の差が生じるというものである (Sparks & Geschwind, 1968)。しかし、実際のところこのような左右差と大脳機能の関係は分かっていない。

耳の使用の左右差が生じる原因として最後に考えられることは、生理的レベルでの聴覚の左右差や発達における左右差の存在であり、生理的に生じている両耳の機能差が、日常での耳の優先使用に影響を及ぼしていることも考えられる。

このように耳の使用の左右差の発生メカニズムは明らかではなく、利き手との関連で形成された習慣なのか、言語中枢の関与によるものなのか、耳そのものに存在する機能差によるものなのかは十分には解明されていない。そこで本論文では、機能差の原因となりうる生理的レベルでの聴覚の左右差研究を概観し、日常行動における左右差との関連について考察する。

2. 聴覚器官と聴覚情報伝達

聴覚の生理的左右差を検討する前に、まず聴覚器官の構造と聴覚情報の伝達についてみてゆく。聴覚器官は大きく末梢聴覚系と中枢聴覚系に分けられる。末梢聴覚系は外耳、中耳、内耳、蝸牛神経を、中枢聴覚系には蝸牛神経核から大脳までの聴覚経路が含まれる。

2.1 聴器の構造

聴覚器官は、音と平衡感覚の情報伝達という2つの機能を担っており、末梢聴覚系はこれらの情報を中枢に伝達する重要な役割を持っている。その構造は音を伝える伝音器である外耳(耳介、外耳道)、中耳(鼓膜、耳小骨、耳管、鼓室など)と、感音器の内耳(蝸牛、三半規管、前庭)に、さらに2つに分けられる(図1)。外耳と中耳、蝸牛は聴覚に関係し、三半規管、前庭は平衡感覚に関係している。

空気の振動である音波は、耳介、外耳道を介して、外耳道の奥にある鼓膜を振動させる。鼓膜にはツチ骨が付いており、鼓膜の振動はツチ骨・キヌタ骨・アブミ骨という3つの耳小骨を振動させ、内耳の蝸

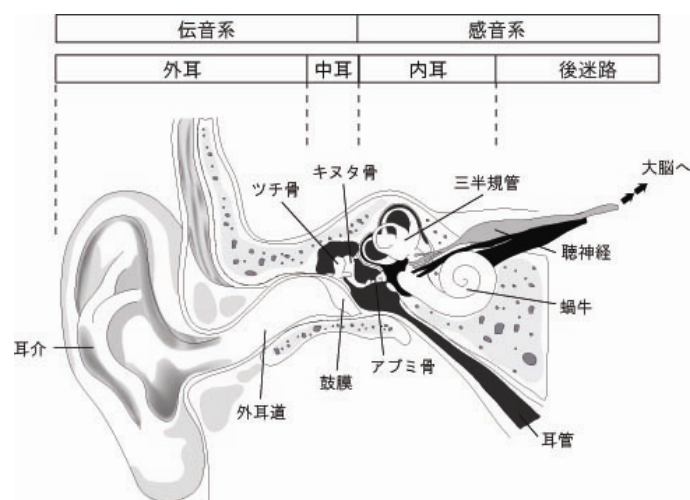


図1 聴覚器官

牛に伝えられる。蝸牛は側頭骨内にあり、らせん状に2回転半、回転をしている。内部はリンパ液という液体で満たされており、音波は中耳の働きによって減弱することなく、リンパ液に効率よく振動が伝達されている。

蝸牛のリンパ液が振動すると、蝸牛内部にある基底板上に振動が伝播する。基底板上には感覚細胞である2種類の有毛細胞(内有毛細胞、外有毛細胞)が存在しており、基底板上が振動することによって、これらの有毛細胞の頂部の感覚毛に変位が引き起こされる。その結果、電気信号が生じ、神経伝達物質が放出され蝸牛神経に求心性の信号伝達が行われる。

音の情報伝達に重要なこの2種類の有毛細胞は、それぞれ異なる働きを行っている。内有毛細胞には求心性の神経線維の大部分がシナプスを形成しており、音情報を直接的に中枢に伝達している。その一方で、外有毛細胞は求心性神経線維の分布は少なく、主として延髄のオリブからの遠心性神経線維がシナプスを形成している。また、外有毛細胞には運動能があり、この運動性と関連した能動的増幅機構により、基底板振動の増幅が引き起こされる。蝸牛の基底回転から頂回転にかけてシナプスを形成している各神経には、入力音に対応した周波数領域で反応する特徴周波数がある。外有毛細胞は、基底板振動の増強をすることで、音を伝える中心的な細胞である

内有毛細胞の感度を高め、鋭敏な周波数選択を行うことが可能になっていると考えられている。

2.2 中枢聴覚伝導路

蝸牛の内有毛細胞と外有毛細胞に分布する神経細胞（双極細胞）は、蝸牛軸にあるラセン神経節に細胞体をもっている。その神経突起は、蝸牛神経となり延髄の蝸牛神経核ニューロンにシナプスされる。蝸牛神経核からの線維は、一部は刺激耳と同側を上行するが、多くは橋を通るなかで反対側へ交叉し、上オリーブ核に終わる。そして両側の上オリーブ核からは、外側毛帯、下丘、内側膝状体を経て、側頭葉の一次聴覚野に達する。下丘からの情報も両側の内側膝状体に伝えられているが、同側優位であり主に同側の聴皮質に伝えられる。

このように外耳から入った音情報は、蝸牛の有毛細胞で神経信号に変換され、一次聴神経から聴覚伝導路を上行し両側の聴覚野に伝達される。ただ、反対側優位であるため、右耳からの情報は左大脳へ、左耳からの情報は右大脳へ主に伝えられる。左右それぞれの情報は脳梁を介して連絡がなされている（伊藤, 2001）。

大脳の聴覚野における音情報の処理、特に語音情報の解析に関しては、一次聴覚野だけでなく周辺の連合聴覚野が活動している（伊藤, 2001）。

3.聴覚の発達

3.1 聴器の発生

外耳道は胎生 4 週にその発生が認められる。胎生 6 週で第 1 次外耳道が形成し、胎生 26 週までにはほぼ完成する。外耳道の長さは生後も変化し、約 10 歳で成人の長さになるとされている。耳介は胎生 6 週から始まり胎生 4 ヶ月頃には形態上完成する。中耳に関しては、胎生 8~9 週頃、耳管と鼓室腔ができはじめ、この頃、耳小骨（ツチ骨、キヌタ骨、アブミ骨）も、成人と同じ形態の軟骨となっている。3 つの耳小さい骨は胎生 15~18 週頃にかけて骨化が進展し、胎生 25 週には成人と同じ大きさになる（西崎・増田, 2001）。

内耳は、胎生 4 週頃にその形成が始まる。胎生 6 週には、蝸牛はらせん状の回転ををはじめ、胎生 8

週末には、成人と同じように蝸牛は 2 回転半の回転を終える。胎生 12 週前後でラセン器の形成が始まり、胎生 22 週で内有毛細胞、外有毛細胞が分化し、胎生 24 週で成人と同じ構造が完成する（野村・平出・原田, 1992）。また、この時期、蝸牛の大きさはすでに成人と同じ大きさになっている（加賀, 2005）。内耳は、外耳や中耳、または他の身体器官と異なり、年齢や、性別、左右、人種による差はないといわれている。

3.2 中枢聴覚伝導路の髄鞘化

脳の発達や成熟、聴覚伝導路の発達では、神経細胞の発生や軸索の伸長、樹状突起の分化、シナプス形成などに加えて、髄鞘形成は機能的に非常に重要である。髄鞘は神経線維を覆う絶縁体のようなもので、髄鞘化が進むことによって、伝達効率が高まり高速に神経パルスを伝えることや長時間の神経活動が可能になる。

Flesig (1920) は中枢聴覚伝導路の下丘は胎生 2 ヶ月に髄鞘化が始まり、聴放線にいたっては生下時には、まだ髄鞘化が始まったばかりで、2 歳頃までかかって髄鞘化が進むとしている。Yakovlev (1967) は胎児、新生児、乳児、成人の脳を髄鞘染色し、ミエリンサイクルを提案しているが、これによると聴覚系は髄鞘化が完成するまでに非常に時間がかかり、蝸牛神経（胎生 6 ヶ月~9 ヶ月）、下丘腕（胎生 7 ヶ月~生後 4 ヶ月）、聴線維（生後 0 ヶ月~3 歳）、大脳連合野皮質-皮質間線維（生後 3 ヶ月~20 歳）としている（加我・市村・新美, 2001）。

このように中枢聴覚伝導路の髄鞘化は、出生前から始まっているものの、下部脳幹で早く上位になるほど遅れている。新生児期は蝸牛神経の髄鞘化が出生時にほぼ完成しているのに対し、脳幹聴覚伝導路の髄鞘化は完成までに 1~2 年を要する。

3.3 聴覚閾値の変化

早期産児の聴覚機能の研究によると、在胎 26~29 週で聴性脳幹反応や誘発電位がみられることが報告されている（Starr, Amlie, Martin & Sanders, 1977）。母胎外の音に対して、胎児の聴覚反応が得られ始めるのは、妊娠 30 週前後になる。

新生児は、聴覚刺激に対して Moro 反射（上肢を前にしがみつくような姿勢をとる）、眼瞼反射、驚愕反射、呼吸反射などの聴性反射が見られる。これらの反射は、生後 3~4 ヶ月過ぎになると次第に見られなくなり、音源探索反応や定位反応などの学習された行動へと変わっていく。新生児の聴力閾値は、成人と比較すると非常に高く、60dB~70dB 程度の大きな音に対して聴性反射が見られる。1 歳頃になると聴力閾値は約 30dB 程度になる。その後も次第に閾値が低下し、10 歳くらいまでかけて徐々に成人の閾値に近づいてゆき、より小さな音も聞くことが可能になっていく。

解剖学的に内耳は、胎生 24 週頃に完成しており、生下時には形態的にも機能的にも完成している。しかし外耳や中耳は、他の頭蓋や骨格と同じように誕生後も成長を続け、10 歳くらいまで変化する。また内耳以降の神経機構に関しても、生後、数年間をかけて徐々に聴覚伝導路が成熟していく。これらの変化は、様々な音に対する生後の聴覚経験や学習などと相互に影響しあい、音に対する感度が鋭敏になってゆくものと思われる。

4. 蝸牛機能の生理的左右差

これまで聴器の構造とその発達、中枢聴覚伝導路の発達について述べてきた。そこで、次に聴覚伝導路の各レベルにおいて（特に蝸牛以降）、左右耳で生理的に差があるのかを探る。始めに音情報を中枢へ伝達する際に重要な鍵となる有毛細胞がある蝸牛機能についてみていく。

4.1 耳音響放射

耳音響放射（otoacoustic emission : OAE）は蝸牛から発生し外耳道内で検出できる微弱な音のこといい、1978 年に Kemp により報告された現象である。OAE は感覚器官である外有毛細胞の能動的な作用の産物として生じるとされており、外有毛細胞の機能を他覚的に捉えることが可能である。OAE はヒト以外に動物（トカゲ、カメ、カエル、コウモリ、モルモット、イヌ、サルなど）でも認められており、誘発する音刺激の有無や刺激音の種類によって、いくつかの種類に分けられる。

音刺激がないにもかかわらず、外耳道で音響信号を検出することができるものを自発耳音響放射（spontaneous otoacoustic emission : SOAE）という。この音響放射の大きさは一般に -10~20dB SPL で、正常聴力者の約 70% 以上で検出されると報告されている。

誘発耳音響放射（transient evoked otoacoustic emission : TEOAE）は、クリック音あるいはトーンバーストなどの短音刺激に引き続いて、10ms 前後の潜時をもって一過的に生じる音響信号である。測定するにはイヤホンとマイクロホンが組み込まれているプローブで外耳道を密封し、検出した反応を通常、約 250 回以上の加算平均を行う。正常聴力者の約 98% で検出される。

歪成分耳音響放射（distortion product otoacoustic emission : DPOAE）は、2 つの異なる周波数の純音を呈示したときに蝸牛内から外耳道に放射される非線形の応答である。入力周波数を f_1 、 f_2 ($f_1 < f_2$) とすると、 $mf_1 \pm nf_2$ (m, n は整数) という周波数を持つ音が誘発され、その中でも $2f_1 - f_2$ の周波数成分が高いレベルで記録される。

これらの OAE は、蝸牛に障害があると減弱したり消失したりする。TEOAE は 40dBHL 以上の内耳性難聴があると検出されなくなり、DPOAE は f_2 が 1000Hz 付近では聴力閾値が 30dBHL で、4000Hz 付近の場合は 50~60dBHL で検出されなくなる。SOAE は中等度以上の難聴があると検出されにくくなる（Probst, Lonsbury-Martin, & Martin, 1991）。つまり OAE は、蝸牛の機能が正常であるかどうかと関連しているといえる。

4.2 耳音響放射の性差および左右差

OAE は正常聴力の成人の多くで検出できる現象であるが、新生児でも記録することができる。また満期産児だけでなく、早期産児であっても修正在胎週数が 30 週以降になると観察される。このことから、出生時にはすでに末梢の聴覚機能が完成しているといえる。新生児の場合、成人と比較すると OAE の振幅が大きく、レベルが高い。早期産児は満期産児に比べて OAE のレベルは低い、修正在胎週数が進むに従って上昇がみられる（Bonfils, 1990; Kok,

1993; Morlet, 1993; Morle, 1995; Smurzynski, 1993, 1994)。早期産児の場合は、出生後も末梢聴覚路の成熟が進んでいくことがわかる。

OAE には性差と左右差があることも知られている。SOAE は男性よりも女性が大きく、左耳より右耳のほうが大きい (Bilger, 1990; Burns, 1992; Khalfa & Collet, 1996; McFadden, 1993)。また、TEOAE においても、右耳の振幅は左耳に比べ大きいことが報告されている (Khalfa, 1998)。この性差、左右差は、新生児にも同じように認められ、SOAE および TEOAE は、男児よりも女児が、そして左耳より右耳が高い (Morlet, 1995; Burns, Arehart & Campbell, 1992; 齊藤, 2003)。

これら OAE でみられる一側優位性は、蝸牛の遠心線維による説明がなされている。蝸牛には内有毛細胞と外有毛細胞があり、それぞれ求心性神経線維とシナプス結合している。この蝸牛神経線維はラセン神経節の軸索であり、ラセン神経節細胞には形態が異なる 2 種類 (I 型、II 型) が存在している。ラセン神経節の 90~95% は I 型で内有毛細胞にシナプスを形成している。1 つの内有毛細胞は 10~20 本の多数の神経線維が支配している。残り 5~10% の II 型は外有毛細胞に分布し、1 本の神経線維で 10~20 個もの外有毛細胞を支配している。音の伝達には I 型が関与しており、内有毛細胞が重要な役割をしている。

一方で、蝸牛には両側の上オリーブ核周辺の神経細胞からの遠心性神経線維、オリーブ蝸牛束 (olivocochlear bundle) が投射している。オリーブ複合体の外側部 (LOC) は同側の内有毛細胞に、オリーブ複合体の内側部 (MOC) は反対側の外有毛細胞に多数シナプスを形成している。MOC システムは外有毛細胞の能動的機構を制御し音受容に関与しているといわれており、オリーブ蝸牛束 (olivocochlear bundle) からの刺激は抑制的に働くことが知られている。

OAE は、対側耳に雑音などの音刺激を負荷することによって反応が抑制され小さくなることが報告されている。これは TEOAE、DPOAE にも見られる現象で (Chery-Croze, Moulin & Collet, 1993; Collet, Kemp, Veillet, Duclaux, Moulin, & Morgon, 1990; Puel

& Rebillard, 1990; Veillet, Collet, & Duclaux, 1991)、遠心性神経線維が外有毛細胞の能動的機構に及ぼす影響と考えられている。

McFadden (1993) は OAE で見られる一側優位性と性差は、この遠心性システムによる抑制の量が右耳と女性で、左耳と男性よりも比較的少ないことによるのかもしれないことを述べている。実際のところ、左右耳の非対称性のメカニズムは不明であるが、新生児から生得的に蝸牛レベルにおいて生理的に左右差があり、右耳優位性であることが明らかである。

5. 脳幹レベルの生理的左右差

蝸牛の外有毛細胞の機能を反映する耳音響放射 (OAE) において、生理的左右差が認められた。そうすると、聴覚伝導路の他のレベルにおいても左右差が存在している可能性がある。OAE 同様に右耳優位か、もしくは聴覚伝導路の反側優位性により逆の影響が生じるのか。次に、脳幹聴覚路における生理的左右差を考える。

5.1 聴性脳幹反応

1970 年に聴性脳幹反応 (auditory brainstem response : ABR) が報告されて以来 (Jewett, Romano, & Williston, 1970; Sohmer & Feinmesser, 1970)、ABR は聴覚検査や神経学的検査に欠かせない検査として、現在では広く臨床応用されている。

ABR は、音刺激に対して頭皮上に設置された電極から記録される電気生理学的反応である。聴覚伝導路の蝸牛神経から脳幹聴覚路に由来する反応で、蝸牛神経終末の活動電位および、脳幹の各中継核の興奮性シナプス電位とされている。ただ、その反応は 0.5~1 μ V という非常に微弱な反応であるため、通常は、1000~2000 回の加算平均を行う。

検査には、クリック音などの短音刺激を用い、音刺激を呈示後、10ms 以内に、6~7 個の波を持つ波形として記録される (図 2)。

それぞれの波形の起源は、ある程度同定されており、研究者によって若干の異論があるが、I 波：蝸牛神経、II 波：蝸牛神経核、III 波：上オリーブ核、IV 波：外側毛帯核、V 波：下丘とされている。I~V 波の中では、V 波の振幅が最も大きい。刺激音の

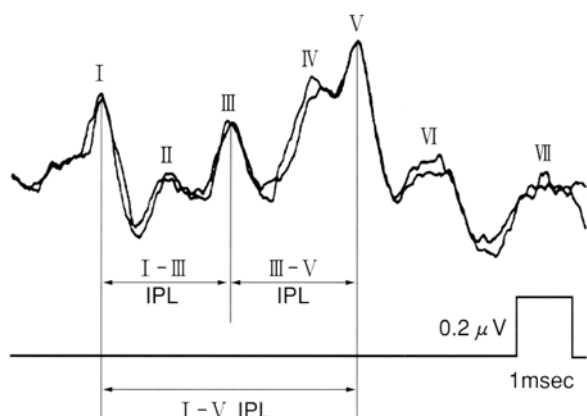


図2 聴性脳幹反応の波形

音圧を小さくすると、ABRの各波形は次第に振幅が小さくなり不明確になっていくが、閾値付近の音までV波は判別可能である。

このV波の消失する閾値は純音聴力の閾値と近い値となるため、聴覚の他覚的検査にはV波が指標に用いられている。また神経学的検査としては、一般にI波、III波、V波の出現や消失、各波の潜時、ピーク間潜時差 (interpeak latency : IPL)、両耳間潜時差 (interaural latency difference : ILD)、両耳のピーク間潜時差 (interaural IPL difference) などが使われる (青柳, 2000)。

5.2 聴性脳幹反応の発達変化

内耳が完成するのは胎生24週頃であるが、基本的なABRの波形は胎生26週ですでに認められている (Starr, 1977)。新生児のABRはI波の振幅が成人に比べて大きく、逆にV波は小さい。新生児では下部脳幹の髄鞘化は完成しているが、上オリーブから上位の髄鞘化は完成していないため、ABRの潜時の遅い成分ほど潜時が延長している。成長に従って、各波の潜時は成人に近づいてゆき、生後3ヶ月でIII波が、生後18ヶ月でV波が成人の潜時になる (芳川・市川, 1999)。

5.3 聴性脳幹反応の性差および左右差

ABRもOAEと同じように、性差と左右差があり、

I波以外の他の波形にみられる。女性は男性に比べ振幅が大きく潜時が短い。III波潜時で約0.1ms、V波潜時とI-VIPLは女性が0.2ms短いという報告がある (青柳, 2000)。左右差に関しては、左耳に比べ右耳のABRはIII波の振幅が大きいことが示されている (Levine & McGaffigan, 1983)。

新生児でも、I波以外で左右差がみられており、右耳で振幅が大きく、IPLは左耳より短い。女兒は男性と比較して、III波とV波の潜時が短く、I波の振幅が大きい (Eldredge & Salamy, 1996, Sininger & Cone-Wesson, 2006)。クリック音とトーンバーストともに、右耳のほうが男児、女性より閾値が低く、右耳のV波の振幅が大きいという報告もある (Sininger, Cone-Wesson, & Abdala, 1998)。

ABRの性差と左右差の方向は、蝸牛で見られたOAEの差と一致する。なぜ差が生じるかは明らかではないが、性差に関しては、男女の頭蓋骨の大きさの違いによる、蝸牛神経から下丘までの聴覚伝導路の伝導時間の影響が示唆されている (Aoyagi, Kim, Yokoyama, Kiren, Suzuki, & Koike, 1990; 青柳, 2000)。このような形態的な違いによる聴覚伝導路への影響を考えることができるが、これだけでは個体間に生じている耳の非対称性については説明できない。右耳優位の生起メカニズムは分からないが、新生児から脳幹レベルで聴覚の左右差があるということは、後天的な聴覚経験によって生じるのではなく、生まれた時にすでに存在する何らかの生物学上優位な生理現象の存在があるのかもしれない。

6.生理的左右差の影響

聴覚伝導路における生理的左右差は、蝸牛と脳幹聴覚路において認められ、これら生理的な右耳優位とラテラルリティとの関連は興味深い。

事実、脳にも左右差があり、左側頭平面が右側頭平面より広いことが報告されている (Geschwind & Levitsky, 1968)。これは成人だけでなく、胎児の脳でも認められ、左脳が機能的に優れていることを示唆している。一般に言語中枢は左脳に多いが、言語中枢の位置する側頭葉が、形態的に生得的に優位性を持っているといえる。こういった大脳の形態的な差に加えて、蝸牛機能や脳幹聴覚路の生理的な右耳優

位性が、言語の脳機能分化を支える一因になっているのかもしれない。

日常的な行動における耳の使用傾向は、従来の利き側研究によっていくつか調査されており、利き手や利き足と同じように、いずれも約 60~70%が右耳優位であることが報告されている (Brito, Brito, Paumgarten, & Lins, 1989; Coren, 1993; Mandal, Pandey, Singh, & Asthana, 1992; Reiss & Reiss, 1997, 1999; Strauss, 1986)。これらの使用傾向は、蝸牛や脳幹聴覚路の右耳優位と一致する。しかし、左右耳の生理的な差はわずかであるので、どの程度、行動と関連するかは疑問である。さらに、生理的な左右差が行動の差を生み出すのか、逆に行動レベルでの差が生理的優位性を増加させるのか、互いにどのような影響があるのかは明らかではない。これらを解明するために、今後は生理的な優位性と行動の左右差を比較検討していくことが必要であろう。

7. 引用文献

- Aoyagi, M., Kim, Y., Yokoyama, J., Kiren, T., Suzuki, Y., & Koike, Y. (1990). Head size as a basis of gender difference in the latency of the brainstem auditory-evoked response. *Audiology*, 29, 107-112.
- 青柳優. (2000). 聴器の発生 野村恭也・小松崎篤・本庄巖 (編) CLIENT21 - 21世紀耳鼻咽喉科領域の臨床 - 10. 感覚器 中山書店
- Bonfils, P., Dumont, A., Marie, P., Francois, M., & Narcy, P. (1990). Evoked otoacoustic emissions in newborns hearing screening. *Laryngoscope*, 100, 186-189.
- Bilger, R.C, Matthies, M.L., Hammel, D.R., & Demorest, M.E. (1990). Genetic implications of gender differences in the prevalence of spontaneous otoacoustic emissions. *Journal of Speech and Hearing Research*, 33, 418-432.
- Brito, G.N.O., Brito, L.S.O., Paumgarten, F.J.R., & Lins, M.F.C. (1989). Lateral preferences in Brazilian adults: An analysis with the Edinburgh Inventory. *Cortex*, 25, 403-415.
- Burns, E.M., Arehart, K.H., & Campbell, S.L. (1992). Prevalence of spontaneous otoacoustic emissions in neonates. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 91, 1571-1575.
- Chery-Croze, S., Moulin, A., & Collet, L. (1993). Effect of contralateral sound stimulation on the distortion product $2f_1-f_2$ in humans: Evidence of a frequency specificity. *Hearing research*, 68, 53-58.
- Collet, L., Kemp, D.T., Veuillet, E., Duclaux, R., Moulin, A., & Morgon, A. (1990). Effect of contralateral auditory stimuli on active cochlear micro-mechanical properties in human subjects. *Hearing research*, 43, 251-261.
- Coren, S. (1993). The lateral preference inventory for measurement of handedness, footedness, eyedness, and earedness: Norms for young adults. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 31, 1-3.
- Eldredge, L., & Salamy, A. (1996). Functional auditory development in preterm and full term infants. *Early human development*, 45, 215-228.
- Geschwind, N., & Levitsky, W. (1968). Human brain: Left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*, 161, 186 - 187.
- 平山恵造・田川皓一. (1995). 脳卒中と神経心理学 医学書院
- 伊藤壽一. (2001). 聴覚中枢 野村恭也・小松崎篤・本庄巖 (編) CLIENT21 - 21世紀耳鼻咽喉科領域の臨床 - 7. 聴覚 中山書店
- Jewett, D., Romano, H.N., & Williston, J.S. (1970). Human auditory evoked responses: Possible brain stem components detected on the scalp. *Science*, 167, 1517-1518.
- 加我君孝・市村恵一・新美成二. (2001). 新 臨床耳鼻咽喉科学 1巻基礎編 中外医学社
- 加我君孝. (2005). 新生児聴覚スクリーニング 金原出版
- Kemp, D.T. (1978). Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 64, 1386-1391.
- Khalfa, S., & Collet, L. (1996). Functional asymmetry of medial olivocochlear system in humans: Towards a peripheral auditory lateralization. *Neuroreport*, 7, 993-996.

- Khalifa, S., Micheyl, C., Veuillet, E., & Collet, L. (1998). Peripheral auditory lateralization assessment using TEOAEs. *Hearing Research*, *121*, 29-34.
- Kok, M.R., van Zanten, G.A., Brocaar, M.P., & Wallenburg, H.C. (1993). Click-evoked oto-acoustic emissions in 1036 ears of healthy newborns. *Audiology*, *32*, 213-224.
- Levine, R.A., & McGaffigan, P.M. (1983). Right-left asymmetries in the human brain stem: Auditory evoked potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *55*, 532-537.
- 野村恭也・平出文久・原田勇彦. (1992). 耳科学アトラス—形態と計測値 シュプリンガー・フェアラーク東京
- Mandal, M.K., Pandey, G., Singh, S.K., & Asthana, H.S. (1992). Degree of asymmetry in lateral preferences: Eye, foot, ear. *The Journal of Psychology*, *126*, 155-62.
- McFadden, D. (1993). A speculation about the parallel ear asymmetries and sex differences in hearing sensitivity and otoacoustic emissions. *Hearing Research*, *68*, 143-151.
- Morlet, T., Collet, L., Salle, B., & Morgon, A. (1993). Functional maturation of cochlear active mechanisms and of the medial olivocochlear system in humans. *Acta Oto-Laryngologica*, *113*, 271-277.
- Morlet, T., Lapillonne, A., Ferber, C., Duclaux, R., Sann, L., Putet, G., & Collet, L. (1995). Spontaneous otoacoustic emissions in preterm neonates: Prevalence and gender effects. *Hearing Research*, *90*, 44-54.
- 西崎和則・増田游. (2001). 聴器の発生 野村恭也・小松崎篤・本庄巖 (編) CLIENT21 —21 世紀耳鼻咽喉科領域の臨床— 7.聴覚 中山書店
- Probst, R., Lonsbury-Martin, B.L., & Martin, G.K. (1991). A review of otoacoustic emissions. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *89*, 2027-2067.
- Puel, J.L., & Rebillard, G. (1990). Effect of contralateral sound stimulation on the distortion product $2f_1-f_2$: Evidence that the medial efferent system is involved. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *87*, 1630-1635.
- Reiss, M., & Reiss, G. (1997). Lateral preferences in a German population. *Perceptual and Motor Skills*, *85*, 569-574.
- Reiss, M., & Reiss, G. (1999). Earedness and handedness: Distribution in a German sample with some family data. *Cortex*, *35*, 403-412.
- 齊藤優子・裕田猛真・間三千夫・池田浩己・瀬野悟史・船越宏子・芝埜彰・嶽良博・榎本雅夫・北野博也. (2003). 新生児および1ヵ月児における誘発耳音響放射：性差，左右差，周波数の検討. *Audiology Japan*, *46*, 583-589.
- Sininger, Y.S., Cone-Wesson, B., & Abdala, C. (1998). Gender distinctions and lateral asymmetry in the low-level auditory brainstem response of the human neonate. *Hearing Research*, *126*, 58-66.
- Sininger, Y.S., & Cone-Wesson, B. (2006). Lateral asymmetry in the ABR of neonates: Evidence and mechanisms. *Hearing Research*, *212*, 203-211.
- Smurzynski, J., Jung, M.D., Lafreniere, D., Kim, D.O., Kamath, M.V., Rowe, J.C., Holman, M.C., & Leonard, G. (1993). Distortion-product and click-evoked otoacoustic emissions of preterm and full-term infants. *Ear and Hearing*, *14*, 258-274.
- Smurzynski, J. (1994). Longitudinal measurements of distortion-product and click-evoked otoacoustic emissions of preterm infants: Preliminary results. *Ear and Hearing*, *15*, 210-223.
- Sohmer, H., & Feinmesser, M. (1970). Cochlear and cortical audiometry conveniently recorded in the same subject. *Isr Journal of the Medical Sciences*, *6*, 219-223.
- Sparks, R., & Geschwind, N. (1968). Dichotic Listening in man after section of neocortical commissures. *Cortex*, *4*, 3-16.
- Strauss, E. (1986). Hand, foot, eye and ear preferences and performance on a dichotic listening test. *Cortex*, *22*, 475-482.
- Starr, A., Amlie, R.N., Martin, W.H., & Sanders, S. (1977). Development of auditory function in

newborn infants revealed by auditory brainstem potentials. *Pediatrics*, 60, 831-839.

Veillet, E., Collet, L., & Duclaux R. (1991). Effect of contralateral acoustic stimulation on active cochlear micromechanical properties in human subjects: Dependence on stimulus variables. *Journal of Neurophysiology*, 65, 724-735.

芳川洋・市川銀一郎.(1999). 聴性脳幹反応. *JOHNS*, 15, 79-84.

(Received: December 31, 2008)

(Issued in internet Edition: February 8, 2009)