

耳音響放射の概要

石津 希代子
日本大学大学院総合社会情報研究科

Overview of Otoacoustic Emissions

ISHIZU Kiyoko
Nihon University, Graduate School of Social and Cultural Studies

Otoacoustic emissions (OAE) are sounds of cochlear origin, which can be recorded by a microphone fitted into the ear canal. They are caused by the motion of the cochlea's sensory hair cells. OAE is a non-invasive objective indicator for evaluating the efficient. Cochlear function has been widely used for differential diagnosis of hearing loss and newborn hearing screening. OAE are classified broadly into spontaneous OAE (SOAE) and evoked OAE (EOAE). EOAE are classified into transient-evoked OAE (TEOAE) and distortion-product OAE (DPOAE) based on the type of acoustic stimulation that is needed to elicit them.

In many studies, OAE are generally higher in females than in males and in the right ears than in the left ears. Gender effect and ear asymmetry are observed across many age groups from infancy to childhood. Children have larger emissions and higher biological noise than adults. There has been a lot of discussion about the causes of asymmetry of otoacoustic emissions. Some studies suggest that ear asymmetry might be a product of the efferent system.

OAE is generally right-ear-advantage phenomenon. It is an open question whether right ear advantage has been involved in the establishment of ear preference and cerebral lateralization.

1. 耳音響放射 (OAE)

外耳に入った音波は、外耳道を通り鼓膜に達する。鼓膜はその振動を、鼓膜に付着している耳小骨を介して内耳へと伝える。内耳は、聴覚や平衡感覚、姿勢制御、固視機能などに関与している部位であり、音刺激を受け取る受容器は内耳の蝸牛に存在する。蝸牛内はリンパ液で満たされており、耳小骨からの振動は、蝸牛管内のリンパ液を振動させ、蝸牛内の基底板上に振動が起こる。その結果、基底板上にあるコルチ器の有毛細胞上の感覚毛が揺れ、その振動により感覚毛の付け根に存在する有毛細胞が興奮し、パルスが発生する。それが聴神経を経て、大脳に音として伝えられている。

感覚細胞を有し、音の伝達に重要な役割を担っているのは蝸牛であるが、1978年に、この蝸牛より音が放射されるという現象が報告された(Kemp, 1978)。

これは耳音響放射 (Otoacoustic Emissions : OAE) とされる現象で、蝸牛の有毛細胞に由来する。音が伝えられる基底板上に振動が生じた際に、蝸牛の有毛細胞で受動的に電気信号に変換されるのではなく、外有毛細胞に機械的な運動 (収縮・伸張運動) が引き起こされ、それによって基底板上の振動の増強が起こる。OAE は、外有毛細胞の運動により増強された基底板上の振動が、中耳・外耳道方向へと伝播し、外耳道に放射されたものと考えられている (日本聴覚医学会, 2009; 小川, 2010)。

OAE には音刺激に関係なく外耳道に放射される自発耳音響放射 (Spontaneous Otoacoustic Emissions: SOAE) と、音刺激によって誘発される耳音響放射 (Evoked Otoacoustic Emissions: EOAE) がある (表 1)。誘発性の OAE には、クリックやトーンバーストといった短音刺激によって誘発される誘発耳音響放射

(Transient Evoked Otoacoustic Emissions: TEOAE) と、周波数の異なる 2 つの純音で同時に刺激した時の歪成分を記録する歪成分耳音響放射 (Distortion Product Otoacoustic Emissions: DPOAE) がある。

表 1. 耳音響放射の種類

耳音響放射		刺激音
自発	SOAE	なし
誘発	TEOAE	クリック、トンビップ
	DPOAE	周波数が異なる 2 つの純音

OAE の測定は、外耳道にプローブ (刺激音を出力するマイクと OAE を検出するためのイヤホンを内蔵) を挿入して行うもので、短時間で実施が可能である。OAE は、正常聴力者であれば検出することができるが、蝸牛に機能低下がある場合は、消失もしくは減弱する。一般的には中等度から重度の内耳性の難聴で、OAE が検出できないとされている。OAE は、内耳機能を客観的に評価する指標であり、非侵襲的で簡便に行えるものである。そのため現在では、蝸牛の病態の把握や難聴の鑑別診断、新生児聴覚スクリーニングなどの他覚的聴覚検査として、広く利用されている。

2. 耳音響放射の生理学的反応差

OAE は新生児から成人まで、性別や左右差、年齢による比較など、多くの研究報告がある。その一部を表 2 に示した。

表 2. 耳音響放射研究

	対象	性差	左右差
SOAE			
Bilger, et al.	成人	女 > 男	右 > 左
Burns, et al.	新生児・成人	女 > 男	右 > 左
Lamprecht, et al.	小児	女 > 男	右 > 左
TEOAE			
Newmark, et al.	新生児	女 > 男	右 > 左
Kei, et al.	2 ヶ月	女 > 男	右 > 左
Driscoll, et al.	2 ヶ月	女 > 男	右 > 左
Driscoll, et al.	6 歳	女 > 男	右 > 左
DPOAE			
Keogh, et al.	6 歳	女 > 男	右 > 左

2.1 性差および左右差

SOAE において、男性より女性で、左耳に比べて右耳で、その反応が大きいことが報告されている。この性差と左右差は、新生児や小児、成人など様々な年齢層で確認されている (Bilger, Matthies, Hammel, & Demorest, 1990; Burns, Arehart, & Campbell, 1992; Moulin, Collet, Veuillet, & Morgon, 1993; Lamprecht-Dinnesen, Pohl, Hartmann, Heinecke, Ahrens, Müller, & Riebandt, 1998)。

TEOAE の場合も、男性に比べ女性で反応が大きく、男女ともに右耳が大きい。両耳間では約 1~2 dB の差があることが報告されている (Moulin, et al., 1993; Kei, McPherson, Smyth, Latham, & Loscher, 1997; Driscoll, Kei, Murdoch, McPherson, Smyth, Latham, & Loscher, 1999; Driscoll, Kei, & Murdoch, 2000)。また、左右耳の差は、男児のほうが顕著であり (Newmark, Merlob, Bresloff, Olsha, & Attias, 1997)、女児の右耳で SN 比が高いことも示されている。

SOAE や TEOAE と同様の性差と左右差は、DPOAE でも認められている (Moulin, et al., 1993; Cacace, McClelland, Weiner, & McFarland, 1996; Bowman, Brown, & Kimberley, 2000)。一般的に右耳は SN 比が高く、DPOAE のレベルも左耳より高い。さらに高周波数において女性の方が男性よりも DPOAE のレベルが大きく、これは小学生でも有意な性差として認められている (Keogh, Kei, Driscoll, & Smyth, 2001)。

2.2 年齢差

小児と成人の OAE 反応を比較すると、小児は成人に比べて反応が大きく、新生児はさらに反応が大きいことが知られている (Burns, Arehart, & Campbell, 1992; Dille, Glatke, & Earl, 2007)。

早期産児の OAE について報告をみると、早期産児であっても修正在胎週数が 30 週以降になると OAE が観察されている。OAE のレベルは低いが、修正在胎週数が進むに従って上昇がみられる (Bonfils et al., 1990; Morlet et al., 1995; Smurzynski et al., 1993; Smurzynski, 1994)。

2.3 脳幹レベルの差

OAE 現象の生じる部位よりも上位レベルの脳幹聴覚路においても、生理学的な反応差があることが多数、報告されている。聴性脳幹反応 (Auditory Brainstem Response: ABR) は、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ある。クリック音などの短音刺激を用い、その音刺激によって誘発される生理反応を頭皮上に設置した電極から記録する。

ABR は通常、音を提示してから 10msec 以内に 6~7 個の波を持つ波形が記録される (図 1)。一般的に、I 波は蝸牛神経、II 波は蝸牛神経核 (延髄)、III 波は上オリーブ核 (橋)、IV 波は外側毛帯 (橋)、V 波は下丘 (中脳) が発生起源と考えられている。

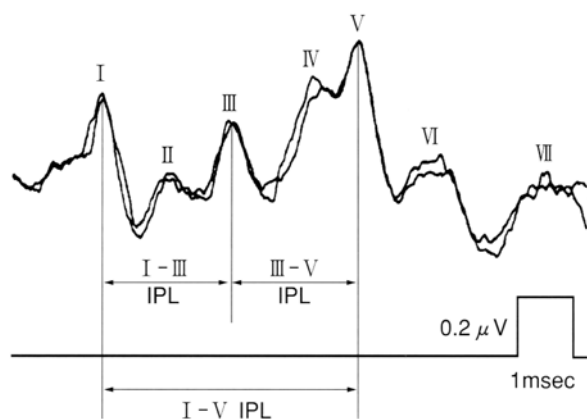


図 1. 聴性脳幹反応の波形 (青柳, 2000)

この ABR 反応にも OAE と同じような性差と左右差がみられる。ABR において女性は男性に比べ波形の振幅が大きく潜時が短い。さらに左耳に比べ右耳の III 波の振幅が大きいことが示されている (Levine & McGaffigan, 1983; 青柳, 2000)。このような ABR の違いは、新生児にも存在しており、女兒は男児よりも III 波と V 波の潜時が短く、左耳に比べ右耳で振幅が大きい (Eldredge & Salamy, 1996; Sininger & Cone-Wesson, 2006)。

ABR でみられている性差と右耳優位は、OAE と一致しており、聴覚伝導路の蝸牛の有毛細胞のレベルから脳幹レベルまで、性差および左右差が共通し

て存在していることがわかる。

3. 耳音響放射の性差・左右差の要因

女性は男性より OAE レベルが大きいことについて、McFadden (1993) は、遠心性システムが性差に関与していると述べている。OAE は、反対側に雑音などの音刺激を負荷することで反応が抑制される。これは遠心神経性線維が外有毛細胞の能動的機構に影響を与えていると考えられているもので、男性と女性で抑制の量が異なることにより、性差が生じると考えられる。

さらに DPOAE では高周波数領域での性差が報告されている。これは男児と女兒の蝸牛の解剖学的構造の差によるといったことや (Don, Ponton, Eggermont, & Masuda, 1993)、男児と女兒の聴覚感度に差がある可能性 (Keogh, et al., 2001) などが挙げられている。一方で、低周波数領域に差がないことに対しては、記録方法や環境、呼吸や下顎の運動といった生体ノイズが干渉要因となっていることが指摘されている (Keogh, et al., 2001)。

OAE は、左耳に比べて右耳の反応レベルが大きい。これは末梢レベルにおいて、右耳の優位性を強化する聴覚処理システムが存在することが示唆される (Khalfa, & Collet, 1996; Newmark, et al., 1997; Kei, et al., 1997)。McFadden (1993) は OAE の右耳優位についても、左耳より右耳で遠心性システムによる抑制が少ないことが影響しているとしている。実際、多くの研究で、耳優位性が遠心システムによる抑制量の違いに起因するとされている。

4. 耳優位性と行動差

なぜ OAE に左右耳差が存在するのか? 一般に言語中枢は左脳に多く、聴覚の情報処理過程における右耳優位が脳の側性化、言語の脳機能分化に関与している可能性も考えられるが、これは未だ明らかではない。OAE の右耳優位が、あらゆる年齢で認められていることを考えると、耳の優位性が聴覚系の発達過程によって生じた変化とはいえない。また、後天的な聴覚経験によって右耳優位が成立したとも考えにくく、先天的に聴覚伝導路に右耳優位性が存在していると考えられることができる。

耳の左右差は、生理的反応だけでなく、電話を聴く・ドア越しに音を聴くといった日常的な振る舞いにおいてもみられる。これは、利き手をはじめとした他の身体各部と同様に、右耳の使用傾向が強い。報告例によって若干の差があるものの、約60~70%が右耳を優先的に使用している (Brito, Brito, Paumgarten, & Lins, 1989; Coren, 1993; Mandal, Pandey, Singh, & Asthana, 1992; Reiss & Reiss, 1997, 1999; Strauss, 1986)。このような行動レベルの耳の preference 傾向は、生後直ぐにみられるものではない。その成立には、利き手の成立によるところが大きい。1~2歳代は、物品を使用する手と同側の耳を使うことが多く、利き手が定まらないため、両耳とも同じような使用が認められる。3歳前半頃になると、手の使用側が固定しはじめ、それに引き続いて3歳後半以降になると耳の preference 側がほぼ一定となる (石津, personal observation)。

聴覚伝導路にみられる生理的な右耳優位と、行動レベルの右耳の使用傾向は、何を意味するのであろうか? 生理的な左右差は、実際にはわずかの差であるが、それが優位側と同側の耳の使用を促進させる可能性はある。耳の preference 傾向は、利き手とも関与するが、生後、生理的に優位な耳の影響を受けて preference が発達し、数年かけて行動的にも優位な左右差が成立していることが考えられる。今後、生理的反応の優位側と行動レベルの左右耳差を比較し、関連性を検討することが課題である。

5. 引用文献

- 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.
- 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. *Speech and Hearing Research*, 33, 418-432.
- Bonfils, P., Dumont, A., Marie, P., Francois, M. & Narcy, P. (1990). Evoked otoacoustic emissions in newborns hearing screening. *Laryngoscope*, 100, 186-189.
- Bowman, D. M., Brown, D. K. & Kimberley, B. P. (2000). An examination of gender differences in DPOAE phase delay measurements in normal-hearing human adults. *Hearing Research*, 142, 1-11.
- 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.
- Cacace, A. T., McClelland, W. A., Weiner, J. & McFarland, D. J. (1996). Individual differences and the reliability of 2f1-f2 distortion product otoacoustic emissions: effects of time-of-day stimulus variables and gender. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 1138-1148.
- 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.
- Dille, M., Glatke, T. J. & Earl, B. R. (2007). Comparison of transient evoked otoacoustic emissions and distortion product otoacoustic emissions when screening hearing in preschool children in a community setting. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 71, 1789-1795.
- Don, M., Ponton, C. W., Eggermont, J. J. & Masuda, A. (1993). Gender differences in cochlear response time: an explanation for gender amplitude differences in the unmasked auditory brain-stem response, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 94, 2135-2148.
- Driscoll, C., Kei, J., Murdoch, B., McPherson, V., Smyth, S. Latham, S. & Loscher, J. (1999). Transient evoked otoacoustic emissions in two-month-old infants: a normative study. *Audiology*, 38, 181-186.
- Driscoll, C., Kei, J. & Murdoch, B. (2000). Transient

- evoked otoacoustic emissions in 6-year-old school children : a normative study. *Scandinavian Audiology*, 29, 103-110.
- Eldredge, L., Salamy, A. (1996). Functional auditory development in preterm and full term infants. *Early human development*, 45, 215-228.
- Kei, J., McPherson, B., Smyth, V., Latham, S. & Loscher, J. (1997). Transient evoked otoacoustic emissions in infants: effects of gender ear asymmetry and activity status. *Audiology*, 36, 61-71.
- Kemp, D. T. (1978). Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 64, 1386-1391.
- Keogh, T., Kei, J., Driscoll, C. & Smyth, V. (2001). Distortion-product otoacoustic emissions in schoolchildren : Effects of ear asymmetry, handedness, and gender. *Journal of American Academy of Audiology*, 12, 506-513.
- Khalifa, S. & Collet, L. (1996). Functional asymmetry of medial olivocochlear system in humans. Towards a peripheral auditory lateralization. *Neuroreport*, 7, 992-996.
- Khalifa, S., Micheyl, C., Veuille, E. & Collet, L. (1998). Peripheral auditory lateralization assessment using TEOAEs. *Hearing Research*, 121, 29-34.
- Lamprecht-Dinnesen, A., Pohl, M., Hartmann, S., Heinecke, A., Ahrens, S., Müller, E. & Riebandt, M. (1998). Effects of age, gender and ear side on SOAE parameters in infancy and childhood. *Audiology & Neuro-Otology*, 3, 386-401.
- 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.
- 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., Lapillonne, A., Ferber, C., Duclaux, R., Sann, L., Putet, G., Salle, B. & Collet, L. (1995). Spontaneous otoacoustic emissions in preterm neonates : prevalence and gender effects. *Hearing Research*, 90, 44-54.
- Moulin, A., Collet, L., Veuille, E. & Morgon, A. (1993). Interrelations between transiently evoked otoacoustic emissions and acoustic distortion products in normally hearing subjects, *Hearing Research*, 65, 216-233.
- Newmark, M. Merlob, P. Bresloff, M. Olsha, M & Attias, J. (1997). Click evoked otoacoustic emissions : inter-aural and gender differences in newborn. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 8, 133-139.
- 日本聴覚医学会. (2009). 聴覚検査の実際 改訂 3 版 南山堂.
- 小川郁. (2010). よくわかる聴覚障害 難聴と耳鳴のすべて 永井書店.
- 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.
- 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.
- Strauss, E. (1986). Hand, foot, eye and ear preferences and performance on a dichotic listening test. *Cortex*, 22, 475-482.

Talmadge, C. L., Long, G. R., Murphy, W. J. & Tubis, A.
(1993). New off-line method for detecting
spontaneous otoacoustic emissions in human
subjects, *Hearing Research*, 71, 170-182.

(Received:December 31,2010)

(Issued in internet Edition:February 8,2011)