

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：34504

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22730592

研究課題名（和文） 聴覚末梢系における情報処理の解明-蝸牛遅延特性を考慮した実験検証-

研究課題名（英文） Signal processing in the auditory periphery: relation to the cochlear delay

研究代表者

饗庭 絵里子（AIBA ERIKO）

関西学院大学・理工学部・理工学部研究員

研究者番号：40569761

研究成果の概要（和文）：

オンセットの同時性は、多くの周波数成分を含む音を単一の音として知覚するための重要な手がかりである。しかしながら、たとえ複数の周波数成分が物理的に全く同時に始まったとしても、蝸牛レベルではその時間的な関係が維持されていない。これは蝸牛基底膜の固さが、鼓膜側から蝸牛頂側に行くにつれて次第に固くなるために生じる現象である。この現象のため、低い周波数成分によって引き起こされる振動は、高い周波数成分によって引き起こされる振動よりも遅く共振する場所に達する。この現象は「蝸牛遅延」と呼ばれている。我々は、蝸牛遅延が同時性判断に影響を及ぼしているのかどうか、また、聴性脳幹反応（ABR）にも変化を及ぼしているのかどうかを、音響心理実験および生理実験によって検証した。その際、蝸牛遅延量を操作した二種類のチャープと一種類のパルスが実験刺激として使用された。その結果、音響心理実験において、通常の蝸牛遅延を引き起こすパルス刺激において、同時性判断の精度が最も高くなった。また、蝸牛遅延をなくすような刺激よりも蝸牛遅延を増長するような刺激において、より同時性判断の精度が高く、異方性をもつことが明らかになった。生理実験においても、人間の聴覚システムにおいて、時間的な処理の側面に異方性があることが示された。

研究成果の概要（英文）：

Onset synchrony is an important cue for perceptual grouping of sounds as a single tone. However, even if all of the components of a single complex tone physically begin exactly simultaneously, their temporal relation might not be preserved at the cochlear level. The stiffness of the cochlear Basilar Membrane (BM) gradually decreases from the basal side (closer to the oval window) to the apical side. Therefore, the vibration caused by low-frequency components reaches its associated location later than that caused by high-frequency components. This phenomenon is referred to as "cochlear delay." We have performed a series of psychoacoustic and physiological experiments to investigate if the cochlear delay significantly affects the perceptual judgment of synchronization, and also if Auditory Brainstem Response (ABR) would change accordingly. Two types of chirps which were controlled the amount of cochlear delay and a pulse were used as experimental stimuli to investigate whether or not cochlear delay imposes a systematic bias on the judgment of perceptual synchrony of two sounds.

The results of the psychoacoustic experiments showed that the synchrony judgment accuracy was highest for stimuli that evoke an intrinsic cochlear delay (pulse). Furthermore, accuracy was higher for stimuli that evoke enhanced cochlear delay than for stimuli that cancelled out cochlear delay. The results of the physiological experiments showed that there is an asymmetric aspect of temporal processing in the human auditory system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：聴覚抹消系、蝸牛遅延、聴性脳幹反応、同時性判断、感覚、知覚

1. 研究開始当初の背景

人間の聴覚末梢系には蝸牛遅延 (cochlear delay) と呼ばれる現象があり、周波数によって有毛細胞発火に至るまでに要する時間が異なる。この現象のため、聴覚末梢系の蝸牛内では、あらゆる周波数成分が全く同時に蝸牛に到達したとしても、高周波成分に対する有毛細胞発火に比べて、低周波成分に対する有毛細胞発火には遅れが生じてしまう。

長年、人間はこのような周波数成分間の僅かな時間差 (位相差) には鈍感であるとされ、重要視されてこなかったが、位相差の調整が合成音声の音質向上に貢献するという評価報告がなされるなど、心理実験の結果にはこれを否定するものも数多くある。申請者は、この事実に注目し、蝸牛遅延特性がこれらの結果に影響を与える一因であると考え先行研究を行った。その結果、蝸牛遅延が顕著に生じる低音域では、周波数成分間の時間差に鈍感であるが、蝸牛遅延のほとんど生じない高音域では、たとえ僅かな周波数成分間の時間差であったとしても検出可能であることが見出された。

2. 研究の目的

そこで、本申請課題においては、この遅延現象に注目し、音響心理実験および聴性脳幹反応の計測を行って蝸牛から脳幹に至るまでの音の情報処理過程を解明することを目的とした。

また、実験の過程において、音楽家と非音楽家の間で結果に差があることがあきらかになったことから、どのような差があるのかについても検証を行った。

3. 研究の方法

(1) 音響心理実験

同時性の知覚精度を測定する聴取実験を行い、人間の同時性判断が蝸牛遅延にどのような影響を受けているのか、また聴覚システムが蝸牛遅延による同時性の崩れをどのように処理しているのか調査した。聴取実験は、2音を同時に提示する「同時刺激」と2音間

に様々な時間差をつけた「非同時刺激」とを一对比較し、どの程度の時間差があれば非同時であると検出できるのかという閾値を推定するという手法で行った。

Figure 1 に示されているような仮説に基づき、(a) 蝸牛遅延をなくす遅延補正タイプの刺激、(b) 蝸牛遅延を増長させる遅延増長タイプの刺激、(c) 普段起こっている蝸牛遅延を生じさせる通常タイプの刺激の3タイプを用いて実験を行い、蝸牛遅延との関連を観察することとした。

例えば、遅延補正タイプの場合、低音域の周波数成分が高音域に先行して始まることから、低音域が遅れて共振する蝸牛基底膜上では蝸牛遅延が補正される (Fig. 1, 左から2列目)。これが、その後の処理過程で一切の遅延処理を受けていなければ、基底膜上の時間関係に一致する知覚が得られるはずである。

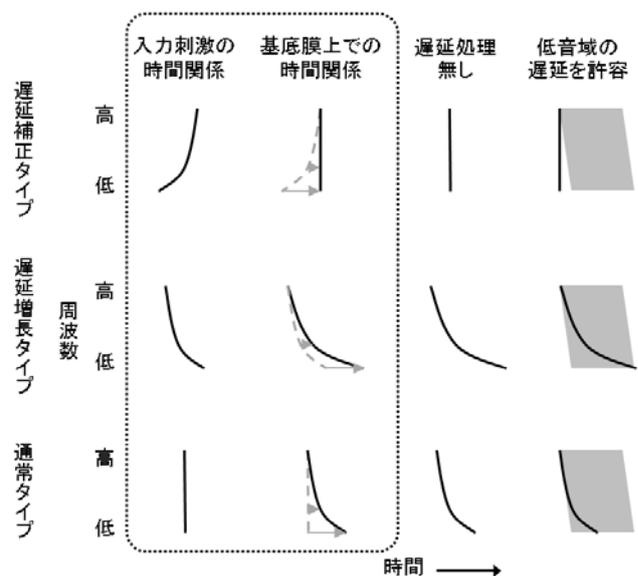


Fig.1 刺激の状態と仮説に関する模式図

(2) 聴性脳幹反応の測定

音響心理実験で用いた刺激と同じ刺激を用いて、聴性脳幹反応 (ABR) を測定し、蝸牛基底膜からの信号がどのような情報処理を受けて脳幹に伝わっているのか、知覚との関係はどのようになっているのかを明らかにすることとした。

4. 研究成果

(1) 音響心理実験の結果

遅延補正タイプにおける同時性判断の精度が最も低くなった。また、通常タイプにおける精度が最も高く、遅延増長タイプにおいては刺激によって通常遅延タイプと同等か、あるいは通常タイプより僅かに精度が低くなった。また、これは蝸牛遅延が顕著に生じる 1,000 Hz 以下の刺激でより顕著に生じたことから、蝸牛遅延の影響により低音域の遅延に対してより同時性の知覚精度が低く、遅延が許容されている可能性が示唆された (Fig. 1, 左から4列目)。

また、音楽家と非音楽家について比較した場合、同時性判断の精度は、音楽家の方が優位に高くなった。

(2) 聴性脳幹反応の測定結果

遅延補正タイプの刺激において、より明確で急峻な聴性脳幹反応が示された。続いて、通常遅延タイプ、遅延増長タイプの順に急進であった。従って、蝸牛基底膜上の時間関係が、脳幹レベルにおいては維持されている可能性が示唆された。

また、演奏家と非演奏家の反応を比較したところ、演奏家の聴覚末梢系における情報処理の時間分解能の方がよく、聴覚末梢系に神経の可塑性が生じている可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Eriko Aiba, Koji Kazai, Takayuki Shimotomai, Toshie Matsui, Minoru Tsuzaki, and Noriko Nagata, "Accuracy of Synchrony Judgment and its Relation to the Auditory Brainstem Response: the Difference between Pianists and Non-pianists," *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 査読有, 15 (8), 2011, pp.962-971.

[学会発表] (計 14 件)

<国際会議>

- ① Eriko Aiba, Koji Kazai, Toshie Matsui, Noriko Nagata, and Minoru Tsuzaki, "Difference in synchrony judgment accuracy of two pulses depending on musical experiences and its relation to the cochlear delays," *Proceedings of ICMPC-ESCOM2012*, 査読有, Thessaloniki,ギリシャ, Jul 25. 2012. [印刷中]
- ② Eriko Aiba, Koji Kazai, Takayuki Shimotomai, Satomi Tanaka, Noriko Nagata, and Minoru Tsuzaki, "Synchrony judgment and its relation to the auditory brainstem response: the difference between musicians and non-musicians," *Proceedings of the Neuroscience and Music IV*, 査読有, c.1, Edinbrugh,イギリス, Jun 10. 2011.
- Eriko Aiba, Takayuki Shimotomai, Koji Kazai, Noriko Nagata, and Minoru Tsuzaki, "Judgment of perceptual synchrony between two pulses and its relation to the auditory brainstem response," *Proceedings of the 40th Annual Meeting of Society for Neuroscience (Neuroscience2010)*, 査読有, 170.5, San Diego,アメリカ, Nov.14 2010.
- ③ Shimotomai Takayuki and Eriko Aiba, "Adaptive modeling for paired comparison," *Neuro2010*, 査読有, P1-q20, Kobe, Sept 2. 2010.
- ④ Satoshi Akatsuka, Noriko Nagata, Eriko Aiba, and Takashi Fujisawa X., "Measurement of brain function when listening to chords: fMRI study," *Proceedings of the 16th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping (OHBM2010)*, 査読有, 2496, Barcelona,スペイン, Jun 9-10. 2010.

<国内会議>

- ⑤ 下斗米貴之, 饗庭絵里子, 三軒谷友美, 長田典子, 大森隆司, "和音の色彩へのマッピングに関する分析", 日本感性工学会春季大会, 査読無, Kagawa, Mar 3, 2012.
- ⑥ 饗庭絵里子, 風井浩志, 松井淑恵, 下斗米貴之, 津崎実, 長田典子, "音楽経験による同時性判断の精度の向上と聴性脳幹反応への影響", 日本音響学会聴覚研究会, 査読無, 41(7), pp.523-528, Toyama, Oct 10, 2011.
- ⑦ 饗庭絵里子, 風井浩志, 松井淑恵, 下斗米貴之, 津崎実, 長田典子, "演奏家と非演奏家における同時性判断の精度の違いと聴性脳幹反応に及ぼす影響", 日本音響学会講演論文集, 査読無, 1-Q-5, pp.543-544, Shimane, Sept 20, 2011.
- ⑧ 合田竜志, 高井康太, 藤村武史, 平田純也, 中村あゆ, 古屋晋一, 饗庭絵里子, 巳波弘佳, 片寄晴弘, 長田典子, "ピアノ演奏スキルの解析とCGアニメーションへの応用", 音楽情報科学研究会第91回研究発表会デモセッション, 査読無, 関西学院大学, Jul 28, 2011.
- ⑨ 饗庭絵里子, 風井浩志, 下斗米貴之, 田中里弥, 津崎実, 長田典子, "蝸牛遅延を補正した2つのパルスの知覚的な分離と聴性脳幹反応との関係", 日本音響学会講演論文集, 査読無, 3-P-26, p.158, 早稲田大学, Mar 11, 2011.
- ⑩ 田中里弥, 饗庭絵里子, 津崎実, 加藤宏明, "連続音響信号中の音事象検出に関わる純音の周波数遷移要因", 日本音響学会講演論文集, 査読無, 3-P-26, p.10, 早稲田大学, Mar 9, 2011.
- ⑪ 田中里弥, 饗庭絵里子, 津崎実, 加藤宏明, "連続的な音系列で知覚される個々の音のタイミング", 日本音響学会第13回関西支部若手研究者交流研究発表会, 査読無, p.15, 同志社大学, Dec 5, 2010.
- ⑫ 田中里弥, 饗庭絵里子, 津崎実, 加藤宏明, "純音系列において個々の音を知覚するための周波数遷移特性", 日本基礎心理学会第29回大会プログラム, 査読無, p.72, 関西学院大学, Nov 28, 2010.
- ⑬ 田中里弥, 饗庭絵里子, 津崎実, 加藤宏明, "音系列中の新規音知覚に関わる周波数遷移条件の検討", 日本音響学会聴覚研究会資料, 査読無, Vol.40, No.8, pp.703-708, Ishikawa, Oct 16, 2010.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

饗庭 絵里子 (AIBA ERIKO)

関西学院大学・理工学部・理工学部研究員
研究者番号: 40569761