

2 純音の同時性の時間幅に関する検討 —周波数領域の影響—

岡崎聡^{†1,2} 一川誠^{†2}

概要：著者らは、先に、2 純音を同時と感じる時間的な範囲（同時性の時間幅）が 2 音の周波数距離の関数として V 字型関数に回帰することを示した。本研究は、この V 字型関数の一般化可能性を検討した。すなわち、先行研究では 200 Hz であった低音周波数を 800 Hz に変更し、刺激全体の周波数領域を 2 オクターブ上昇させて、同時性の時間幅を測定した。その結果、同時性の時間幅は、高域の周波数に対しても、V 字型関数に回帰することが確認された。

1. はじめに

音と音の同時性の知覚は、未だ現象論的記述すら十分でない。特に、図 1 のような開始時間差 Δt を持つ 2 純音に対して、(1) Δt がどの程度の範囲内であれば、人は 2 純音が同時に開始したと感じるだろうか？そして、(2) 同時と感じる Δt の範囲（同時性の時間幅）は、2 純音の周波数距離 Δf の関数として、どのように変化するだろうか？

まず、(1) の問いへの答えを得るためには、聴取者に 2 音の同時性判断を求め、同時性の時間幅を測定しなければならない。しかしながら、この測定は、別の、2 音の知覚的な融合が起こる時間幅の存在によって、混乱させられていた可能性があった。すなわち、(a) Δt が小さく、融合の時間幅以下である場合には、2 音を知覚的に分離することが不可能になり、聴取者は、ただ融合した 1 音を聞くことになる。このとき、同時性判断を求められた聴取者は、実際には 1 音しか聞こえていなくても、実験手続き上、物理的に 2 音が存在することを理解しており、その 2 音が同時であったと推測して判断する。また、(b) Δt がやや大きく、融合の時間幅より大きい、同時性の時間幅以下である場合には、聴取者は、知覚的に分離し、かつ、同時に開始した 2 音を聞くことになる。このとき、聴取者は、2 音の知覚的な分離を頼りに、物理的な 2 音が非同時であると推測して判断することも、あるいは、知覚的な同時性を頼りに、2 音が知覚的に同時であると判断することもできる。最後に、(c) Δt が十分大きく、同時性の時間幅より大きい場合には、聴取者は、知覚的に分離し、かつ、非同時に開始した 2 音を聞くことになる。このとき、聴取者は非同時と判断する。以上の同時性判断の多義性は心理物理実験によって既に示されている [1]。そこで、本研究はこの多義性を回避する（手続きの詳細は後述）実験を行った。

次に、(2) の問いへの答えを得るためには、同時性の時間幅を、様々な Δf 条件で測定し、量的に記述しなければならない。著者らは、前の研究において、低音周波数を 200

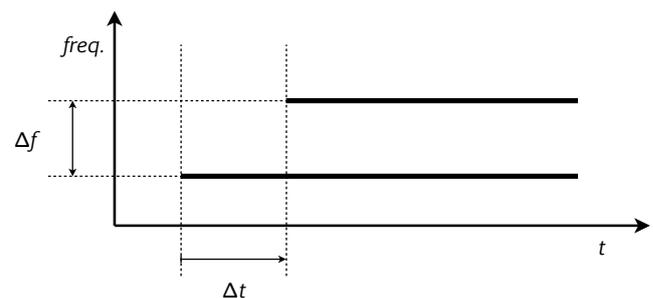


図 1 刺激の模式図

Hz に固定して Δf を様々に変化させ、同時性の時間幅の測定を行った [2]。その結果、同時性の時間幅- Δf の関数は、V 字曲線に回帰することが明らかになった。本研究は、この V 字特性の一般性を確かめるため、前の研究とは周波数領域が異なる刺激セットを用いて実験を行い、同時性の時間幅- Δf の関数を測定した。すなわち、低音周波数を 800 Hz に変更し、これに伴い、刺激全体の周波数領域を 2 オクターブ上昇させて、同時性の時間幅を測定する実験を行った。

2. 方法

2.1 刺激

刺激は周波数の異なる 2 つの純音で構成された。低音の周波数を 800 Hz に固定し、高音の周波数に 819, 838, 864, 1131, 1270, 1425, 1600, 2400, 3200, 4800 Hz ($\Delta f=0.03, 0.07, 0.11, 0.50, 0.67, 0.83, 1.00, 1.59, 2.00, 2.59$ octaves) を設けた。2 音は非同時、または同時に開始した ($\Delta t = \pm 0, 2, 4, 7, 14, 27, 52, 100$ ms)。後続音の持続時間は 300 ms であり、2 音は同時に終了した。各音の開始と終了に 15 ms のコサイン・テーパをかけた。実験に使用されたすべての周波数の純音のラウドネスは、事前に行われたラウドネスマッチング課題で、65dB 1000 Hz の純音と等しくなるように、聴取者ごとに調整した。

†1 日本学術振興会特別研究員 DC
JSPS Research Fellow DC

†2 千葉大学
Chiba University

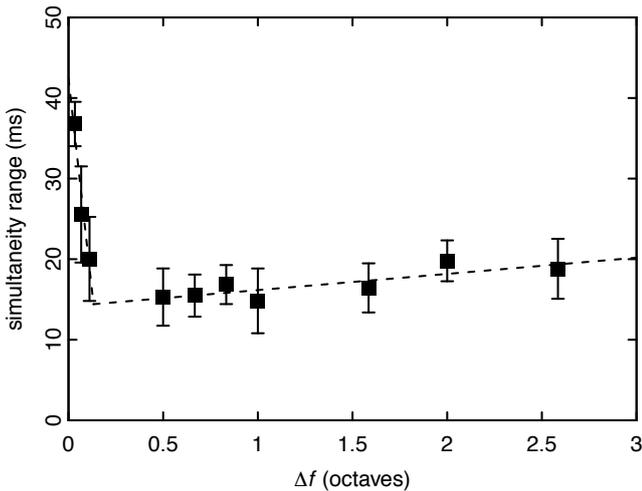


図 2 同時性の時間幅- Δf の関数 (低音周波数 : 800 Hz)

2.2 装置

刺激はヘッドホン (Sony, MDR-1MK2) で呈示した。聴取者は防音室 (KAWAI, FKS20-12) 内で課題を遂行した。刺激は、コンピューター (Apple, Macbook Air) で標準化周波数 44.1 kHz, 量子化ビット数 16 bit で合成され、オーディオインターフェース (Focusrite, Scarlett 2i2) でアナログ信号に変換された。

2.3 手続き

聴取者が 2 音の知覚的な融合を手掛かりに同時性判断を行わないよう、聴取者には、まず、呈示された刺激が 1 音に聞こえるか、2 音に聞こえるか判断させた。その上で、2 音に聞こえた場合のみ、その 2 音が同時に聞こえたか、非同時に聞こえたか判断させた。聴取者の反応に対してフィードバックは与えられなかった。各周波数水準の呈示を 10 回ランダムな順で繰り返した。

2.4 聴取者

6 名 (女性 1 名, 男性 5 名, 21-30 歳) が実験に参加した。4 名が $\Delta f < 1$ octaves, 4 名が $\Delta f > 1$ octaves 条件の課題を遂行した。2 名が両条件の課題を遂行した。

3. 結果

聴取者ごとに得られた同時性判断を Δt 軸上にプロットし、その標準偏差を同時性の時間幅の指標とした。図 2 は、本研究で得られた同時性の時間幅- Δf の関数である。ダッシュ線は、先行研究と同様に最小二乗法を用いて得た回帰曲線を表す。同時性の時間幅は、小さい Δf に対して急峻に右下がり、比較的大きな Δf に対して緩やかに右上がりの傾向を見せた。

4. 考察

同時性の時間幅- Δf の関数は、先行研究よりも高い周波数領域の 2 純音に対しても、V 字曲線に回帰することが明らかになった。この同時性の時間幅- Δf の V 字特性は、低音周波数を 800 Hz に固定した本研究でも、200 Hz に固定した先行研究でも似たような結果となった。すなわち、V 字の折点はともに小さな Δf 近辺に表れた。また、V 字の傾きはともに、左側が比較的急峻であり、右側が比較的緩やかであった。以上より、同時性の時間幅- Δf の V 字特性は、周波数領域にかかわらず、再現されることが示された。このことはまた、同時性の時間幅が、2 音それぞれの周波数にかかわらず、 Δf によってのみ決定されることも示唆する。

同時性の時間幅- Δf の関数の V 字特性は、2 音の同時性の知覚が V 字の折点を境に異なるメカニズムによって実現されていることを意味する。V 字の左側の Δf が小さい領域について、著者らは、2 純音が蝸牛基底膜の振動に変換される時に、 Δf が小さいほど Δt が縮小することを見出した [3]。 Δt の縮小は 2 音がより同時と知覚されやすくなることを意味することから、V 字の左側の傾向はこの蝸牛の機構によって決定されているものと考えられる。V 字の右側については、未だそのメカニズムは解明されていないが、次のような可能性が考えられる。すなわち、 Δf が大きい場合には 2 純音に高い周波数が含まれる。高い周波数音は低い周波数音に比べ、聴神経の発火のタイミング精度が低い [4][5]。これは、高い周波数音の開始点が正確に再現されず、時間軸上のある範囲に広がることを意味する。これによって、2 音がより同時と知覚されやすくなる。この聴神経の特性が V 字の右側の傾向を決定している可能性がある。

参考文献

- [1] Okazaki, S. and Ichikawa, M.. Perceptual Fusion and Simultaneity for Auditory Stimuli. Proc. ICMP13-APSCOM5. 2014, p.316-319.
- [2] 岡崎聡, 一川誠. 2 純音の周波数距離の関数としての知覚的同時性の U 字型特性. 音響学会春季研究発表会講演論文集. 2015, p. 501-502.
- [3] 岡崎聡, 一川誠. 蝸牛における 2 音の開始時間差の縮小 —基底膜振動シミュレーションによる検討—. 音響学会春季研究発表会講演論文集. 2015, p. 473-474.
- [4] Ohgushi, K.. On the role of spatial and temporal cues in the perception of the pitch of complex tones. The Journal of the Acoustical Society of America. 1978, vol. 64, no. 3, p. 764-771.
- [5] Johnson, D. H.. The relationship between spike rate and synchrony in responses of auditory-nerve fibers to single tones. The Journal of the Acoustical Society of America. 1980, vol. 68, no. 4, p. 1115-1122.