

視覚と聴覚のバイディング課題における時間限界の比較

金谷 翔子

東京大学大学院人文社会系研究科
産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門
日本学術振興会

藤崎 和香

産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門

西田 眞也

日本電信電話 (株) NTT コミュニケーション科学基礎研究所

横澤 一彦

東京大学大学院人文社会系研究科

Simultaneity is crucial to bind various sensory signals processed independently in our early perceptual systems. The limit of temporal binding can be estimated by measuring the temporal frequency limit in which we cannot discriminate two states (in-phase or out-of-phase) of oscillating two sequences of stimuli. Previous studies on vision have reported several temporal frequency limits ranging from 2-3 Hz to over 20 Hz depending on the combination of stimulus attributes. Here we investigated whether we can also see several limits in audition in three experiments. What we found is that the limit is higher for within-attribute binding than for cross-attribute binding both in vision and audition (Experiment 1), and the limits for auditory within-attribute binding depend on low-level parameters such as the separation of two sequences in frequency of the tone (Experiment 2) or diotic presentation vs. dichotic presentation (Experiment 3). Similarities between vision and audition, together with further problems, are discussed.

Keywords: temporal synchrony, binding, vision, audition.

問題・目的

感覚情報間の同時性は、知覚系によって独立に処理された様々な属性の特徴を統合し一体感のある知覚世界を構築するための重要な手掛かりである。

バイディング課題とは一定の時間周波数で特徴の交代する2つの刺激を提示し、同時に提示された特徴の組み合わせを報告させるもので(図1)、この課題が遂行不能となる時間周波数限界は同時性に基づく特徴統合メカニズムの限界と考えられる。

視覚の同一属性内の比較(e.g. 輝度と輝度)では特に刺激間の距離が近い時に、高い時間周波数限界が得られることが知られている(Aghdaee & Cavanagh, 2007; Victor & Conte, 2002)。一方で、視覚の複数属性間の比較(e.g. 色と方位)や複数モダリティ間の比較(e.g. 色と音高)では2-3Hzという低い時間限界が組み合わせによらず非常に安定して観察される。これは属性やモダリティにまたがる特徴統合メカニズムの時間限界を反映していることを示唆する(Fujisaki & Nishida, 2010)。

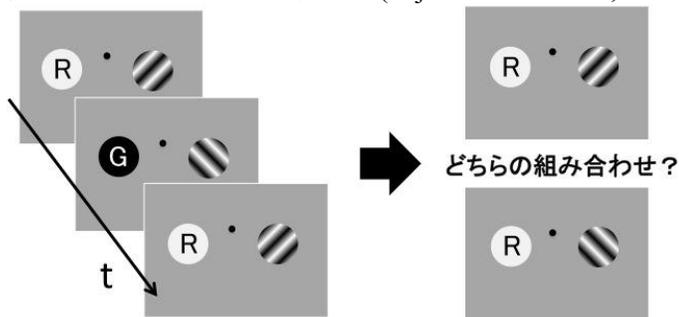


図1. バイディング課題(色 vs 方位)

一方、視覚のみならず聴覚においても音高や音色、空間位置など複数の刺激属性が存在する。また聴覚でも数十マイクロ秒から数百ミリ秒までの様々な時間分解能が報告されている。このことから、聴覚においても視覚と同様に、低次の専用メカニズムと比較的高次の汎用メカニズムが存在する可能性があると考えられる。しかしながら、これまで視覚と他モダリティの体系的な比較は行われてこなかった。そこで本研究では視覚と聴覚のそれぞれについてバイディング課題を行い、両モダリティの共通性および差異について検討した。

方法

刺激

実験1では視覚だけでなく聴覚においても、属性内比較では属性間比較よりも高い時間限界が得られるかを調べた。視覚の属性内比較として方位と方位(左斜め45°、右斜め45°の正弦波グレーティング)を、属性間比較として色(赤、緑)と方位がそれぞれ交代する刺激を用いた。視覚刺激として直径3.09°の2つのディスクを、それぞれのディスクの中心から15.4°離して配置した。聴覚の属性内比較として純音(523.2Hz、1108.8Hz)と純音(293.7Hz、493.9Hz)、属性間比較として純音(261.6Hz、367.0Hz)と帯域制限雑音(2000Hz—2500Hz、3000Hz—3500Hz)、および純音(261.6Hz、367.0Hz)と反復リプル雑音(165.6Hz、220Hzの音高知覚を生じるもの、帯域は2500Hzから5000Hz)を用いた。反復リプル雑音とは、雑音をある一定の遅延、利得で重ねたもので、基底膜上の場所情

報に依存しない音高知覚を生じさせることができる刺激である。聴覚刺激は全てヘッドホンを通して左右の耳に別々に、約60dB SPLで提示された。

実験2では聴覚の属性内比較においても交代刺激間の距離によってバイディング課題の成績が変化するか調べるため、純音刺激同士の周波数差を操作した。周波数差小条件では実験1の純音—純音条件と同じ刺激を用いた。周波数差大条件では別の純音（622.2Hz、880.0Hz）と純音（261.6Hz、367.0Hz）を用いた。同時に提示される刺激の二種類の組み合わせのうち、より近い周波数の組み合わせは周波数差小条件では523.2Hzと493.9Hz、周波数差大条件では622.2Hzと367.0Hzであった。実験1と同様、刺激は左右の耳に別々に提示した。

実験2では別々の耳に提示した純音同士の周波数差を操作したが、聴覚におけるより低次の特徴は同耳で、刺激が同じ聴覚フィルタに入る時にさらに強くなると予測される。そこで実験3では聴覚の属性内比較において、二刺激を同一の耳に重ねて提示する方が別々の耳に分けて提示する場合より高い時間限界が見られるか調べた。同耳条件では実験1の純音—純音条件で用いた二系列の純音刺激を重ねて左右両方の耳に提示し、別耳条件では同じ刺激を左右それぞれの耳に分けて提示した。

手続き

実験1～3は以下の手続きに従って行われた。二つの交代刺激の特徴を矩形波状に変化させ、変化の位相差を0° または180° とした時に同時に提示される特徴の組み合わせ二種類のうち、片方を正位相、もう片方を逆位相と定義した。課題は刺激を1試行あたり6秒間ずつ観察し、刺激が消えてから正位相であったか逆位相であったかをキー押しで回答するものであった。回答の正誤は反応後に注視点の色変化によってフィードバックされた。

変調周波数は少なくとも1.4Hzから8Hzまでを含む6段階を用いたが、条件あるいは被験者によってさらに高い周波数を加えた。各変調周波数につき最低20試行のデータを取得した。

実験参加者

実験1には21～24歳の7名、実験2には21～24歳の9名、実験3には20～22歳の7名が参加した。全員が正常な視力、聴力を持つ大学生であった。

結果

図2～4に実験1～3における正答率75%の周波数閾の平均を示す。

実験1の結果について、視覚の二条件を比較したところ、方位—方位条件では色—方位条件よりも有意に高い限界値が得られた。聴覚条件の各ペアを比較したところ、純音—純音では他の二条件のいずれよりも高い値が、また純音—帯域制限雑音では反復リプル雑音条件よりも高い値が得られた。実験2、実験3では、周波

数差小条件において周波数差大条件よりも高い値が、同耳条件において別耳条件よりも高い値が得られた。

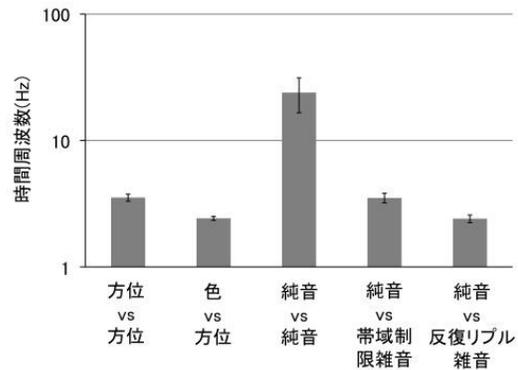


図2. 実験1の結果

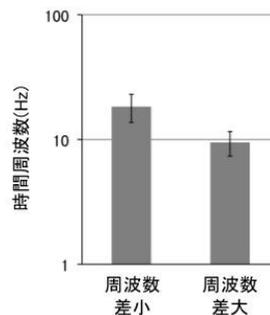


図3. 実験2の結果

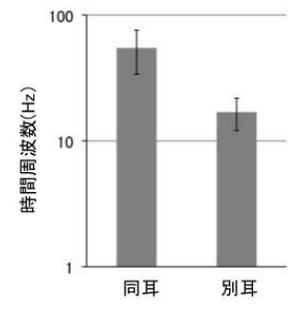


図4. 実験3の結果

考察

実験1では、視覚のみならず聴覚においても属性内比較において属性間比較よりも高い時間限界が得られ、また聴覚の属性間比較では低くほぼ一定の値となった。実験2、3では、聴覚の属性内比較においても周波数差または提示耳の異同によって交代刺激間の距離を操作することで時間限界が変化した。これらの結果は視覚と視覚、または視覚と他モダリティを組み合わせた先行研究の結果と一致する。

これらの結果は、モダリティを問わず、低次の手掛かりを利用可能な場合にはその利用可能性によって課題成績が変化し、属性間比較においてこのような手掛かりが存在しないまたは利用困難な場合には低くほぼ一定の時間限界が見られることを示唆する。

実験1で聴覚の属性間比較の二条件における時間限界に有意な差が見られた原因は現時点では明らかでないが、今後別の聴覚属性を用いてさらなる検討を行う。

引用文献

Aghdaee, S. M., & Cavanagh, P. 2007 Temporal limits of long-range phase discrimination across the visual field. *Vision Research*, 47, 2156–2163.
 Fujisaki, W., & Nishida, S. 2010 A common perceptual temporal limit of binding synchronous inputs across different sensory attributes and modalities. *Proceedings of the Royal Society B*, 277, 2281–2290.
 Victor, J. D., & Conte, M. M. 2002 Temporal phase discrimination depends critically on separation. *Vision Research*, 42, 2063–207.