

## 視覚と聴覚の属性内および属性間の対応付けにおける 時間周波数限界の比較

金谷 翔子 <sup>\*\*\*,\*\*\*\*</sup>・藤崎 和香 <sup>\*\*</sup>・西田 眞也 <sup>\*\*\*\*</sup>・横澤 一彦 <sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> 東京大学 大学院人文社会系研究科

<sup>\*\*</sup> 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

<sup>\*\*\*</sup> 日本学術振興会, <sup>\*\*\*\*</sup> 日本電信電話(株) NTT コミュニケーション科学基礎研究所

〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

### 1. 研究の背景

外界の情報は視覚, 聴覚といった複数の感覚モダリティごとに個別に我々の知覚系へと入力される。また各感覚モダリティにおいても例えば色, 運動といった異なる属性は基本的には独立に処理される。特徴間の同時性はバラバラになった感覚モダリティ間, 属性間の情報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がかりである。

バインディング課題(図1)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, この課題が遂行不可能となる時間周波数限界は同時性に基づく対応付け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周波数限界が得られることが知られている<sup>1,2)</sup>。これは

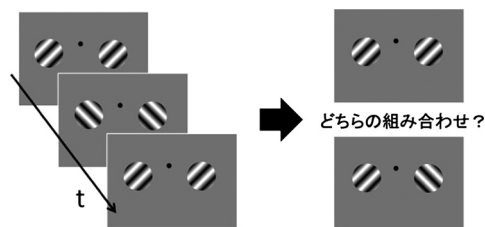


図1 バインディング課題(方位-方位)。

属性固有の低次のメカニズムの時間特性を反映するものと考えられる。

一方で, 視覚の複数属性間の比較(e.g. 色と方位)やモダリティ間の比較(e.g. 色と音高)では2~3 Hzという低い時間限界が刺激の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汎用メカニズムの時間限界を反映していることを示唆する<sup>3)</sup>。

一方, 視覚のみならず聴覚にも音高や音色, 空間的位置といった複数の属性が存在する。また聴覚でも数十マイクロ秒から数百ミリ秒に及ぶさまざまな時間分解能が報告されている。よって, 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。しかしながら視覚と聴覚で同じ課題, 同じ実験参加者を用いた体系的比較はこれまでに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ンディング課題を行い, 両感覚モダリティの共通性および差異について検討した。

### 2. 一般的方法

視覚刺激は ViSaGe (Cambridge Research Systems), CRT モニタ (SONY CPD G520, リフレッシュレートは 160 Hz) を用いて作成, 提示した。聴覚刺激はヘッドホン (Sennheiser HDA 200) を用いて提示した。視覚刺激, 聴覚刺激ともに, コンピュータ (EPSON MT7500) および

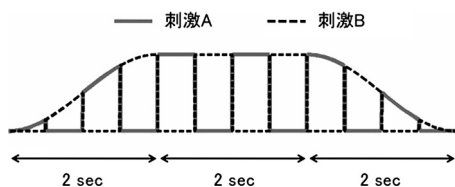


図2 矩形波によって変調された交代刺激。

Matlab で制御した。

交替刺激は矩形波で変調して作成した。同時に提示される特徴の組み合わせ二種類 ( $0^\circ$  または  $180^\circ$ ) のうち、片方を正位相、もう片方を逆位相と定義した。刺激長は6秒で、オンセット、オフセットに2秒間のコサイン窓をかけた (図2)。被験者の課題は、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て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。条件また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。

### 3. 実験 1

視覚を用いた先行研究では、一般的に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、属性間比較では低く、かつ組み合わせによらない一定の値になることが報告されている<sup>3)</sup>。実験1では聴覚でも同様の傾向が見られるかを調べるため、視覚と聴覚のそれぞれにつき属性内、属性間比較のバインディング課題を用いて検討した。

#### 3.1 実験参加者

21~24歳の大学生6名 (平均年齢21.5歳,  $SD=1.23$ ) が実験に参加した。全員が正常な視力または矯正視力、および聴力を有していた。

#### 3.2 刺激

以下に述べるように、視覚の属性内比較を一条件、視覚の属性間比較を一条件、聴覚の属性内比較を一条件、聴覚の属性間比較を二条件の計5通りの刺激条件を用いた。視覚の属性内比較として方位と方位 (左斜め  $45^\circ$ , 右斜め  $45^\circ$ )

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  $3.09^\circ$  の二つのディスクを、それぞれのディスクの中心から  $15.4^\circ$  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 (2000~2500Hz, 3000~3500Hz), および純音 (261.6Hz, 367.0Hz) と反復リプル雑音 (165.6Hz, 220.0Hzの音高知覚を生じるもの、帯域は2500Hzから5000Hz) を用いた。

純音が明瞭な音高知覚を生じさせるのに対し、帯域制限雑音は明瞭な音高知覚を生じさせず、異なる帯域を持つ二つの帯域制限雑音は主に音色によって弁別される。反復リプル雑音は一定の遅延 ( $d$  ms) を加えて同一の雑音を複数回重ねることによって作成され、 $1/d$  kHzの純音と等しい音高知覚を生じるものである<sup>4)</sup>。純音の音高知覚には基底膜振動の興奮パタンのピーク位置 (場所情報)、位相固定した聴神経発火の時間間隔 (時間情報) の両方が用いられるのに対し、反復リプル雑音は主に時間情報を用いて音高知覚を生じさせることができる。

これらの刺激はすべてヘッドホンを通して約60dB SPLで提示された。比較する属性 (純音と狭帯域雑音など) はそれぞれ左右の耳に別々に提示された。各刺激の提示耳 (左右) は被験者内でカウンターバランスを取った。

#### 3.3 結果

実験の結果、正答率が75%となる周波数閾の平均値は、方位-方位条件において3.66Hz、色-方位条件において2.35Hz、純音-純音条件において26.46Hz、純音-帯域制限雑音条件において3.54Hz、純音-反復リプル雑音条件において2.37Hzとなった。

統計的検定の結果、視覚の二条件間では、方位-方位条件において色-方位条件よりも有意に高い値が得られた ( $t(5)=9.11, p<.01$ )。また聴覚の三条件についてそれぞれの組み合わせを比較したところ、純音-純音条件において純

音-帯域制限雑音条件および純音-反復リプルノイズ条件よりも高い値が、また純音-帯域制限雑音条件において純音-反復リプル雑音条件よりも高い値が得られた ( $t(5)=5.66, p<.05, t(5)=6.80, p<.05, t(5)=3.45, p<.05$ , いずれもボンフェローニ補正済)。

視覚の属性内比較において属性間比較よりも高い時間限界が見られたことは先行研究の報告と一致する。また、聴覚の属性内比較においては 20 Hz を超える非常に高い値となったのに対し、属性間比較の二条件では視覚の属性間比較と類似した、低くほぼ一定の値であった。

純音-帯域制限雑音条件で純音-反復リプル雑音条件よりも高い値が得られた理由は現時点ではあきらかでないが、この点については今後、検討していく予定である。

## 4. 実験 2

視覚の属性内比較を行った先行研究では、刺激間の空間的距離が近い場合により高い時間限界が報告されている<sup>1,2)</sup>。視覚における空間的距離のアナロジーとして、実験 2 では聴覚における周波数差を操作して、聴覚の属性内比較においても同様の傾向が見られるかを検討した。

### 4.1 実験参加者

21~24 歳の大学生 8 名 (平均年齢 21.8 歳,  $SD=1.04$ ) が実験に参加した。うち 4 名は実験 1 にも参加していた。全員が正常な視力または矯正視力、および聴力を有していた。

### 4.2 刺激

本実験では、周波数差小条件、周波数差大条件の二条件を比較した。

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 (622.2 Hz, 880.0 Hz) と純音 (261.6 Hz, 367.0 Hz) を用いた。同時に提示される刺激の 2 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前者の条件で 523.2 Hz と 493.9 Hz、後者の条件で 622.2 Hz と 367.0 Hz であった。実験 1 と同様、各刺激は左右の耳に別々に提示した。

## 4.3 結果

実験 1 にも参加した 3 名の周波数差小条件のデータは、実験 1 の純音-純音条件のデータと同じものを用いた。正答率が 75% となる周波数閾の平均値は、周波数差小条件において 20.83 Hz、周波数差大条件において 8.72 Hz となった。

統計的検定の結果、周波数差小条件では周波数差大条件よりも有意に高い限界値が得られた ( $t(7)=2.12, p<.05$ )。

本実験の結果は、聴覚の属性内比較においても、刺激間の周波数差が小さい時、すなわち距離が近い時の方がより高い時間限界が得られることを示唆している。

## 5. 実験 3

実験 2 では刺激の距離を近づけるため周波数差を操作したが、二つの聴覚刺激は左右の耳に別々に提示されていた。聴覚末梢系は、周波数帯域が連続的に重なりあう帯域通過フィルタ群を含むような機能を持つことから (聴覚フィルタ)、同耳に周波数の近い二音を提示すると同じ聴覚フィルタ内で処理され、より強い低次の手がかりが利用できる可能性が考えられる。そこで実験 3 では二つの刺激を左右両方の耳に提示する条件 (diotic presentation) と、別々の耳に提示する条件 (dichotic presentation) を設け、刺激が同一聴覚フィルタに入る前者の条件においてより高い時間限界が見られるか検討した。

### 5.1 実験参加者

20~21 歳の大学生 6 名 (平均年齢 20.8 歳,  $SD=0.41$ ) が実験に参加した。うち 3 名は実験 1 にも参加していた。全員が正常な視力または矯正視力、および聴力を有していた。

### 5.2 刺激

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。

### 5.3 結果

実験 1 にも参加した 3 名の別耳条件のデータ

は、実験1の純音-純音条件のデータと同じものを用いた。正答率が75%となる周波数閾の平均値は、同耳条件において46.76 Hz、別耳条件において15.35 Hzとなった。

統計的検定の結果、同耳条件では別耳条件よりも高い限界値が得られた ( $t(5)=2.37$ ,  $p<.05$ )。

同じ二系列の純音刺激を用いても、それらを同じ耳に合わせて提示した場合の方が別々の耳に提示する場合よりも高い時間限界が得られることが示された。

## 6. 考 察

本研究では視覚と聴覚のバインディング課題を通して、同時性に基づく対応付けにおける視聴覚の共通性および差異について検討した。

実験1では視覚のみならず聴覚においても、属性内比較では属性間比較よりも時間限界が高くなり、聴覚の属性間比較の二条件においてはほぼ一定の低い値となった。これらの結果は視覚と視覚、または視覚と他モダリティの組み合わせを用いた先行研究の報告と一致する。また実験2, 3では同時に提示される純音刺激同士の間周波数差が大きい場合よりも小さい場合に、またそれらを左右の耳に別々に提示するよりも同じ耳に重ねて提示した場合に、時間限界がより高くなった。これらのことは視覚を用いたバインディング課題における刺激間距離の影響に類似している。

本研究の結果は、同じ属性同士の対応付けを

行う場合には属性固有の低次の手がかりが用いられ、複数属性間の比較のように低次の手がかりが存在しないまたは利用困難な場合には高次の手がかりが用いられること、また後者の処理を行うのは両モダリティで共通、または類似の高次のメカニズムである可能性を示唆している。

一方で、純音-帯域制限雑音条件で純音-反復リブル雑音条件よりも高い値が得られた理由は現時点ではあきらかでないが、この問題については今後、刺激のパラメータを変えて同条件で実験を行う、また音源位置のような別の聴覚属性を用いて比較を行うなどして詳細に検討していく予定である。

## 文 献

- 1) S. M. Aghdaee and P. Cavanagh: Temporal limits of long-range phase discrimination across the visual field. *Vision Research*, **47**, 2156–2163, 2007.
- 2) J. D. Victor and M. M. Conte: Temporal phase discrimination depends critically on separation. *Vision Research*, **42**, 2063–2071, 2002.
- 3) W. Fujisaki and S. Nishida: A common perceptual temporal limit of binding synchronous inputs across different sensory attributes and modalities. *Proceedings of the Royal Society B*. **277**, 2281–2290, 2010.
- 4) W. A. Yost: Pitch strength of iterated rippled noise. *Journal of Acoustical Society of America*, **100**, 3329–3335, 1996.