

# ピッチ知覚と音源定位に関わるメカニズムの独立性

古川茂人<sup>†1</sup> 鷲澤史歩<sup>†1,†2</sup> 越智篤<sup>†1,†3</sup> 柏野牧夫<sup>†1,†2</sup>

音のピッチおよび位置は、知覚的には独立な属性と見てよい。音の詳細時間波形に関する情報はどちらの属性においても共通して重要である。本研究では、これら2つの属性に関する知覚感度が、共通の処理モジュールの精度によって規定されているという仮説を、2つの実験パラダイムを用いて検証した。ピッチまたは両耳間時間差（定位の手がかり）の変化の検出感度の個人差を調べたところ、両者の検出感度の間には正の相関がみられず、仮説を支持する結論は得られなかった。また、知覚学習実験を行ったところ、ピッチに関する学習後、聴取者のピッチ知覚の感度は向上した一方で、両耳間時間差に対する感度はむしろ低下した。この結果は、上記の仮説を支持するものでなく、ピッチと定位に関わる脳内情報処理モジュールが、限られた神経資源をめぐって競合している可能性を示唆する。

## 1. はじめに

聴覚末梢において、音信号の詳細時間構造(temporal fine structure, TFS)情報は、聴神経発火の位相同期パターンとして表現されている。このTFS情報は、ピッチ知覚や両耳間時間差 (interaural time difference, ITD) にもとづいた音源定位といった様々な聴知覚において、重要な役割を果たしている。ピッチ知覚には、TFSの繰り返し周期(基本周波数)が大きく貢献している(以後、TFSに基づいて生ずるピッチ知覚を「TFSピッチ」と呼ぶ)、ITDはTFSの両耳間時間差を比較することによって処理されていると考えられるからである。本研究では、一見異なる属性であるピッチ知覚および音源定位における聴覚系の感度が、TFS情報を処理する共通の神経メカニズムによって規定され、このメカニズムの精度が高いほど、TFSピッチとITDに対する感度が高いという仮説(以後「共通メカニズム仮説」と呼ぶ)を呈示し、これを実験的に検証した。異なるパラダイムに基づく2種類の実験を行った。本稿は、その既発表の研究を紹介する[1]。

## 2. 実験1: TFSピッチとITD感度の相関

共通メカニズム仮説では、同一メカニズムの精度が、TFSピッチとITDに対する感度を決定する。このため、TFSピッチとITDの感度が相関することが期待される。これを確認するため、多数の聴取者からTFSピッチ、ITDおよびその他の属性に関する感度データを取得し、属性間で感度の相関を調べた。

### 2.1 方法

22名の聴力正常な聴取者が実験に参加した。実験では、4つ属性についてのタスクを聴取者に課し、検出閾値を適応法によって計測した。(1) TFSピッチタスク: MooreとSek[2]の提案する手法により、TFSピッチ検出閾値を計測

した。調波複合音(基本周波数:  $F_0$  Hz)の成分周波数を、共通の値( $\Delta f$  Hz)だけシフトすると、複合音の包絡の周期が $F_0$  Hzのままであるのかかわらず、知覚されるピッチは変化する。周波数成分が聴覚末梢で分解されないように複合音を帯域制限しても、このピッチシフトが知覚されることから、その知覚は、TFSの変化に基づくものだと考えられる。MooreとSekの手法は、この現象を利用してTFSピッチ検出閾値( $\Delta f/F_0$ として表現)を測定するものである。(2) ITDタスク: 音のITDを変化させると、頭内音像は右または左に定位される。このタスクでは、音像位置の変化を検出するために必要な最小のITD値(ITD検出閾値; 単位 $\mu$ s)を計測した。刺激音として、(1)と同じ複合音を用いた。(3) ILDタスク: ITDと同様に、両耳間レベル差(interaural level difference, ILD)によっても音像定位が変化する。このタスクでは、ITDと同様な手法により、ILD検出閾値(単位dB)を計測した。(4) レベルタスク: このタスクでは、刺激音の音圧レベルの増加に関する検出閾値(レベル検出閾値; 単位dB)を計測した。刺激音は(1)~(3)で用いたものと同様である。本研究の主な関心は、上記(1)と(2)で得られたTFSピッチ検出とITD検出の間の相関であった。(3)と(4)のタスクは、一種の統制条件として行われた。これらのタスクでは、TFS情報の関与は必要ではないが、実験手順は、(1)と(2)と類似していた。いずれのタスクにおいても、適応法による閾値測定は、聴取者ごとに複数回行われ、その平均値((1)および(2)では、幾何平均)をもって各タスクの閾値とした。

### 2.2 結果

22名の聴取者から得られた検出閾値から、タスクの組み合わせごとに相関係数を求めた。相関係数を計算する前に、TFSピッチおよびITD検出閾値は対数変換した。6種類のタスクの組み合わせのうち、統計的に有意な相関がみられたのはITD・ILDタスク( $r = 0.55$ ;  $p = 0.008$ )およびILD・レベルタスク( $r = 0.62$ ;  $p = 0.002$ )のみであった。しかし、TFSピッチ・ITDタスクの組み合わせについては、統計的には有意でない負の相関がみられた( $r = -0.26$ ;  $p = 0.247$ )。つまり、本実験では、共通メカニズム仮説を支持する結果は得

<sup>†1</sup> 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
NTT Communication Science Laboratories, NTT Corporation

<sup>†2</sup> 東京工業大学  
Tokyo Institute of Technology

<sup>†3</sup> 東京大学  
University of Tokyo

られなかった。

### 3. 実験2：TFS ピッチの知覚学習の影響

本実験では、TFS ピッチタスクの訓練が、ITD タスクの成績に及ぼす効果を調べた。もし、TFS ピッチと ITD の処理に共通のメカニズムが関与しており、TFS ピッチの知覚学習によってその共通メカニズムの精度が向上したならば、訓練の対象となっていない ITD タスクの成績も向上することが期待できる。

#### 3.1 方法

20名の聴力正常な聴取者が実験に参加した。いずれの聴取者も、それまでに心理物理実験に参加した経験はない。そのうち10名からなる訓練群には、TFS ピッチタスク訓練を課した。TFS ピッチタスクの訓練は、2週間にわたって毎日（週末を除く）数時間ずつ行った。訓練開始の1週間前、および訓練終了の1週間後、1か月後には、実験1で行った4種類のタスクを実施し、聴取者の感度を計測した（テスト・セッション）。残りの10名からなる統制群においては、訓練やそのほかの心理物理実験は行わなかったが、訓練群と同じスケジュールでテスト・セッションを実施した。

#### 3.2 結果

訓練群については、TFS ピッチタスクの訓練によって、テスト・セッションで得られた TFS ピッチタスクの感度が向上する傾向が見られた（検出閾値が低下した）。訓練前の閾値と比べて、訓練後1週間および1か月後の閾値低下はそれぞれ有意傾向および有意であった（paired *t*-test:  $p = 0.073, 0.0309$ ）。統制群については、テスト・セッションの実施日の間に有意な閾値の違いは見られなかった（ANOVA:  $p = 0.48$ ）。

共通メカニズム仮説に基づく予測では、ITD タスクの成績は TFS ピッチタスクの訓練によって向上することが期待された。しかし、実際には、訓練前の閾値と比べて、訓練後1か月後の閾値に有意な上昇が見られた（paired *t*-test:  $p = 0.0005$ ）。統制群においては、テスト・セッションの実施日の間に有意な閾値の違いは見られなかった（ANOVA:  $p = 0.97$ ）。

そのほかの2つのタスク（ILD タスクおよびレベルタスク）については、訓練群においても、訓練前後で有意な閾値変化は観測されなかった。

### 4. まとめと考察

実験1では、共通メカニズム仮説で予想されるような、TFS ピッチタスクと ITD タスク間の閾値の正の相関は見られなかった。また、実験2については、同仮説では TFS ピッチタスクの成績向上にともなって、ITD タスクの成績向上が予測されたが、結果としては、そのような現象は観測されず、むしろ、ITD タスクの成績低下がみられた。この

2つの結果は、いずれも共通メカニズム仮説を支持するものではない。

しかしながら、本結果は、TFS ピッチと ITD の処理基盤が共通性・相互作用を直ちに否定するものでもない。実験2では、TFS ピッチタスクの訓練によって、ITD タスクの成績がある一定の条件では低下することが示された。これは、TFS ピッチの ITD の処理メカニズムの共通性あるいは相互作用を示唆するものである。一つの可能性として、次のようなものが考えられる。TFS ピッチと ITD は、脳内の共通の神経メカニズムによって処理されるが、その神経メカニズムの「資源」には限界があるため、TFS ピッチと ITD の処理は競合する。例えば TFS ピッチの処理のために、その資源が振り分けられる状態では、ITD の処理の効率が落ちることとなる。そのような脳内の共通の神経メカニズムの候補としては、脳幹に位置する上オリーブ内側核（medial superior olive, MSO）がある。MSO には、左右の耳からの聴神経スパイク発火の時間差（つまり ITD）を計算する神経回路があることはよく知られている。この両耳処理に加えて、単耳において発火の時間パターンを処理する機構も存在し、また、ある程度の可塑性があることが示唆されている[3]。

### 参考文献

- 1) Furukawa, S., et al.: How independent are the pitch and interaural-time-difference mechanisms that rely on temporal fine structure information?, International Symposium on Hearing (ISH 2012), Cambridge, UK (2012).
- 2) Hopkins, K., Moore, B.C.: Development of a fast method for measuring sensitivity to temporal fine structure information at low frequencies, *Int J Audiol*, Vol. 49, pp. 940-946 (2010)
- 3) Grothe, B.: The evolution of temporal processing in the medial superior olive, an auditory brainstem structure. *Progress in neurobiology*, Vol. 61, pp. 581-610 (2000)