

# 自身が生成した音の時間間隔の知覚は 時間的文脈に依存して損なわれる

箕谷啓太<sup>†1</sup> 柏野牧夫<sup>†1,2</sup>

**概要：**音楽演奏において意のままに音の時間間隔をコントロールする能力は重要である。これを実現するには演奏者自身が生成した音の時間間隔を正確に知覚して、理想のものへと修正していく必要がある。しかし、時間知覚は身体運動によって影響を受けることが知られており、自身の生成した時間間隔は正しく知覚できていないかもしれない。そこで、ある時間間隔（基準間隔）を持つ音列に続けて呈示される聴取者自身が生成した音の時間間隔に対する知覚特性と、受動的に聴取した音の時間間隔に対する知覚特性をそれぞれ調べた。その結果、受動的に聴取する時に比べて自身が生成した時には、基準間隔が秒以上のときに知覚精度が悪化することが分かった。しかし、基準間隔が秒以下であっても秒以上のものが前後に呈示される条件では同様の知覚精度の悪化がみられた。また、知覚精度の悪化に伴い、時間間隔生成によって時間間隔が短く感じられることも分かった。ただし、基準間隔が一定で呈示される条件ではその効果が検出されず、順応効果によりその効果が弱められることが示唆された。

## 1. 導入

音楽演奏において、自身が生成する音の時間間隔を意のままにコントロールする能力は最も重要なものの一つである。この時間間隔のコントロールの能力を身につける上で、自身が生成した時間間隔を知覚し、意図した長さを知覚した長さとのずれを認識し、生成する時間間隔を理想のものへと修正していく必要があるだろう。これまでの研究により、身体運動が時間知覚に良くも悪くも影響することが知られている[1,2]。したがって、時間間隔の知覚は聴取者自身が時間間隔を生成する行為により影響を受ける可能性があるが、これについて検討されてこなかった。そこで、ある基準間隔を持つ音列に続けて呈示される、聴取者自身が生成した音の時間間隔に対する知覚特性を調べ、受動的に音を聴取するだけの場合のものと比較した。

先行研究において、時間間隔の長さが秒以下(subsecond)だと自動的に、秒以上(suprasecond)だと認知制御的に時間間隔が処理されるということが示唆されている[3]。これを反映するように、先行研究により非時間的な認知課題が秒以上の時間間隔弁別に影響を与え、秒以下に対しては影響しないことが知られている[4]。これと同様に、時間間隔生成による弁別への影響も秒以下・以上で異なる可能性がある。したがって、対象となる時間間隔の長さによる効果が、自己生成した時間間隔の弁別においてもみられるかについても検討するため、秒以下から秒以上にまたがる範囲の時間間隔を用いた。

本研究では実験1から4までを行った。実験1から3までは、試行ごとにランダムに基準間隔が選ばれる条件で行った。実験4では、文脈効果を検討するため、一定の基準間隔が呈示される条件で行った。実験1から3はそれぞれ異なる範囲の基準間隔を用いた。実験1では秒以下から秒以上にまたがる範囲、実験2では秒以下のみ、実験3では

秒以上のみとした。実験4では、秒以下と秒以上の条件で、同一実験参加者に対してそれぞれ別日に実験を行った。

## 2. 実験1

### 2.1 方法

#### 2.1.1 参加者

実験1では、14名が参加した。そのうち3名は、比較間隔が長いものほど早いと答える傾向がいくつかの条件でみられた、すなわち判断確率の推定曲線（解析参照）が反転したため除外した。残りの11名（うち女性10名、平均年齢±標準偏差 34.5±5.6歳）を解析した。

#### 2.1.2 手順

本実験は、音列聴取後に参加者自身の行為によって時間間隔が再生成されるActive条件と、音列が受け身的に呈示されるPassive条件からなる（図1）。各試行は参加者に開始を知らせる音の呈示によって始められた。Active条件では、開始の6秒後に、3つの純音（時間長：50ms、立ち上がり・立ち下がり：10ms、周波数：1kHz、音圧レベル：およそ80dB）が等しい時間間隔で呈示された。その音列の時間間隔（基準間隔）は0.5, 1.2, 2.2, 3.2, 4.2秒の中からランダムに選ばれた。その呈示のあと、参加者は全体の音列を等間隔にするように純音をキー押すことによって生成した。その後、参加者は最後の自身の行為によって生成した音のタイミングが、音列が等間隔になるタイミングと比べて、早かったか遅かったかを判断した。一方、Passive条件では4つの音列が直前のActive条件ブロックからランダムに選ばれた試行と同じ時間間隔で呈示された。Active条件と同様に、参加者は4音目のタイミングが早かったか遅かったかを判断した。次の試行は判断の1秒後に開始された。

参加者は、目を瞑ること、時間間隔を細分化する戦略を取らないこと、音列に合わせて身体を動かさないことを指示された。時間間隔の細分化は1秒以上の時間間隔に対して弁別精度を向上させることが知られている[5]。また、参

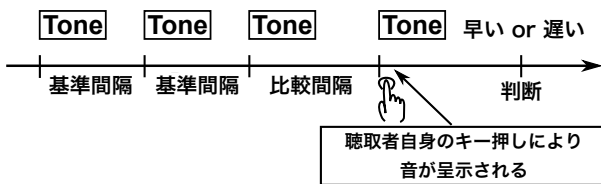
<sup>†1</sup> 東京工業大学物理情報システム専攻

<sup>†2</sup> NTTコミュニケーション科学基礎研究所

加者は右手の人差し指をキーに接触している状態で時間間隔を再生成するように求められた。

各ブロックは、各基準間隔 12 試行ずつ、計 60 試行から構成される。Passive 条件ブロックは常に Active 条件ブロックの後にいった。各ブロックの間には休憩を挟んだ。実験は 2 日かけて行った。各日の最初の各条件ブロックは解析から除外した。各条件・基準間隔・参加者あたり 12 ブロック×12 試行=144 試行のデータを取得した。

### Active条件



### Passive条件

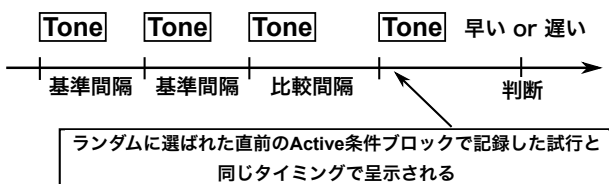


図 1 各条件における実験手順の概略図

#### 2.1.3 解析

まず、3 音目から 4 音目までの時間間隔（比較間隔）が四分位範囲の 2 倍よりも第一四分位点から大きいもしくは、第三四分位点より小さい試行を外れ値として除去した。

この外れ値の処理の後、各実験参加者・基準間隔・条件ごとにデータを解析した。解析されるデータは比較間隔・早遅判断がペアとなったものである。早遅判断は二値変数とした。比較間隔を独立変数、早遅判断を従属変数として最尤法によるロジスティック回帰を行った。このロジスティック回帰により判断確率の推定値を示す曲線が求まる。『遅い』と判断する確率が 0.5 となる比較間隔は主観的等価点(PSE: point of subjective equality)、『遅い』と判断する確率が 0.25、0.75 となる比較間隔の差の半分を丁度可知差異(JND: just noticeable difference)として算出した。PSE とは、基準間隔に対して参加者が等しいと感じていると推定される比較間隔の長さであり、判断基準の指標である。一方 JND は、参加者が基準間隔と比較間隔との差異を感じるために必要と推定される差の大きさであり、判断精度の指標である。PSE が大きいとは基準間隔の過大評価もしくは比較間隔の過小評価を意味し、JND が大きいとは判断精度が悪いことを意味する。異なる基準間隔間でこれらの指標を比較するため、基準間隔の大きさでこれらの指標を割ることで標準化した。

統計解析には二要因（条件×基準間隔）反復測定分散分析を用いて、Greenhouse-Geisser epsilon による自由度調整

を必要に応じて適用した。全ての事後比較には、paired *t*-test を用いた。

### 2.2 結果

各条件における PSE の基準間隔に対する比率を図 2A に示した。反復測定分散分析（2 条件：Active、Passive ×5 基準間隔：0.5、1.2、2.2、3.2、4.2 秒）により、条件の主効果 $[F(1, 10) = 8.19, p = .017, \eta_p^2 = .450]$ および基準間隔の主効果 $[F(1.5, 14.5) = 12.04, p = .002, \eta_p^2 = .546]$ が有意であった。交互作用は有意でなかった $(p = .45)$ 。条件の主効果が有意であったことから、自身の行為により生成した時間間隔は、受動的に聴取した時間間隔に比べて、短く感じられていることが示された。

JND についても PSE と同様に図 2B に示した。反復測定分散分析により、条件の主効果 $[F(1, 10) = 23.45, p < .001, \eta_p^2 = .701]$ 、基準間隔の主効果 $[F(2.5, 25.0) = 9.59, p < .001, \eta_p^2 = .490]$ が有意であった。交互作用は有意でなかった $(p = .41)$ 。条件の主効果が有意であったことから、自身の行為により生成した時間間隔は、受動的に聴取した時間間隔に比べて、曖昧に感じられていることが示された。

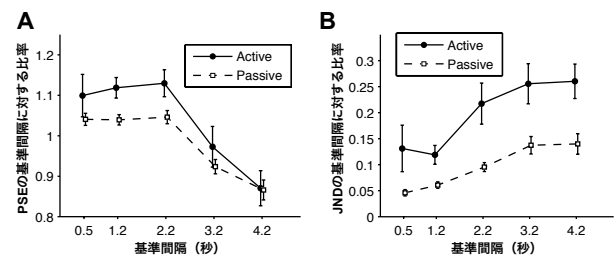


図 2 実験 1 における PSE と JND の基準間隔に対する比率。エラーバーは標準誤差を表す。

### 3. 実験 2

実験 1 では秒以下から秒以上までの基準間隔がランダムに呈示される条件で行ったが、時間的な文脈が影響している恐れがある。そのため実験 2 では秒以下のみの範囲で基準間隔がランダムに呈示される条件で行った。

#### 3.1 方法

実験手順は、基準間隔に関するものを除き、実験 1 と同じである。用いた基準間隔は 0.3、0.4、0.5、0.6 秒の 4 つであった。基準間隔が 4 つであるため 1 ブロックあたりの試行は 4 基準間隔×12 試行=48 試行であった。本実験には 15 名が参加した。うち 4 名は解析から除外した。判断確率の推定曲線の反転もしくは、PSE の基準間隔に対する比率が極端に高い（2 以上）であったためである。残りの 11 名（うち女性 7 名、平均年齢±標準偏差 36.3±5.7 歳）を解析した。解析は実験 1 と同一の方法で行った。

#### 3.2 結果

実験 1 と同様に PSE の測定結果を図 3A に示した。分散分析により、条件の主効果が有意ではなく $(p = .16)$ 、基準間隔の主効果が有意であること $[F(1.27, 12.7) = 13.10, p = .002]$ 、

$\eta_p^2 = .567$ ]が分かった。交互作用は有意でなかった ( $p = .58$ )。実験 1 とは対照的に、時間間隔を生成することによる効果はみられなかった。

JND (図 3B) については分散分析により、有意な条件と基準間隔の主効果および交互作用は検出されなかった(それぞれ、 $p = 1.00, .16, .19$ )。本実験での PSE と同様に時間間隔を生成することによる効果は見つからなかった。

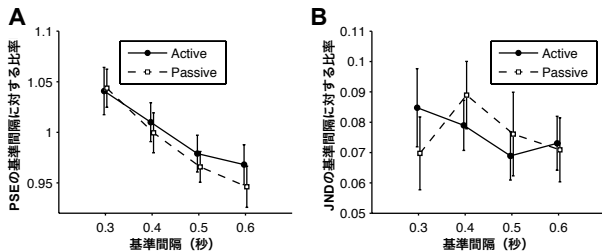


図 3 実験 2 における PSE と JND の基準間隔に対する比率。エラーバーは標準誤差を表す。

### 4. 実験 3

実験 2 では秒以下のみの基準間隔を用いたが、実験 3 では秒以上のみの範囲で基準間隔を呈示する。

#### 4.1 方法

実験手順は、基準間隔に関するものを除き、実験 1, 2 と同じである。用いた基準間隔は 3.0、3.1、3.2、3.3 秒の 4 つであった。本実験には 10 名 (うち女性 8 名、平均年齢 ± 標準偏差  $37.8 \pm 4.8$  歳) が参加した。除外は行わなかった。解析は実験 1, 2 と同一の方法で行った。

#### 4.2 結果

PSE の結果を図 4A に示した。条件の主効果 [ $F(1, 9) = 13.54, p = .005, \eta_p^2 = .601$ ]、基準間隔の主効果 [ $F(1.30, 11.7) = 9.46, p = .007, \eta_p^2 = .512$ ]は有意であった。交互作用は有意水準にわずかに届かなかった [ $F(1.31, 11.8) = 3.20, p = .092, \eta_p^2 = .262$ ]。実験 1 と一致して、時間間隔生成によって時間が短く感じられていることが示された。

一方 JND (図 4B) は条件の主効果 [ $F(1, 9) = 5.28, p = .047, \eta_p^2 = .370$ ]、基準間隔の主効果および交互作用は有意でなかった(それぞれ、 $p = .78, p = .29$ )。これも実験 1 と一致し、時間間隔生成によって知覚精度が落ちていることが示された。

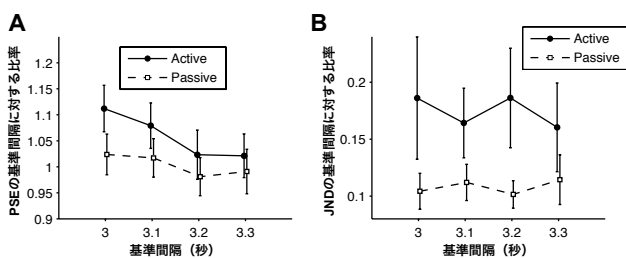


図 4 実験 3 における PSE と JND の基準間隔に対する比率。エラーバーは標準誤差を表す。

## 5. 実験 4

これまでの実験では基準間隔の呈示がランダムに行われたが、実験 4 ではある基準間隔が一定してブロック中に出てくる条件で行った。

#### 5.1 方法

実験 1,2,3 と手順は同様である。基準間隔は 0.5 および 3.2 秒を用いた。それぞれの基準間隔について別日に実験を行った。ブロック当たりの試行数は 48 回とした。実験参加者は 17 名であった。そのうち 3 名は時間間隔生成のばらつきが極端に大きかった (比較間隔の標準偏差が基準間隔の 0.5 倍よりも大きい) ために解析から除外した。14 名 (うち女性 11 名、平均年齢 ± 標準偏差  $37.1 \pm 6.4$  歳) を解析した。

#### 5.2 結果

PSE (図 5A) について条件および基準間隔の主効果、交互作用は有意でなかった(それぞれ、 $p = .39, .34, .47$ )。

JND (図 5B) について条件の主効果 [ $F(1, 13) = 6.40, p = .025, \eta_p^2 = .330$ ]、基準間隔の主効果 [ $F(1, 13) = 30.28, p = .0001, \eta_p^2 = .700$ ]、交互作用 [ $F(1, 13) = 4.79, p = .048, \eta_p^2 = .270$ ]が有意であった。事後検定により基準間隔 3.2 秒の時のみ Active 条件と Passive 条件との差が有意であり ( $p = .02$ )、基準間隔 0.5 秒の時には有意でなかった ( $p = .78$ )。

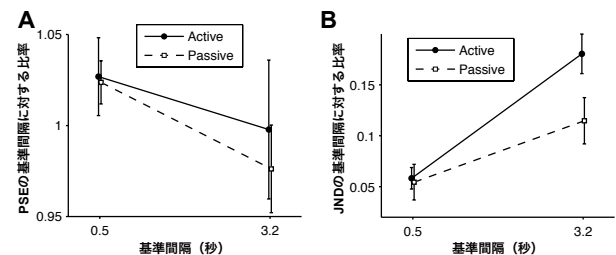


図 5 実験 4 における PSE と JND の基準間隔に対する比率。エラーバーは標準誤差を表す。

## 6. 議論

実験結果を簡単にまとめる。実験 1, 3 および、実験 4 での秒以上の基準間隔に対してのみ、時間間隔を自身の行為によって生成することで時間間隔の知覚精度の悪化がみられた。また、実験 1, 3 においてのみ、時間間隔生成によって主観的に短く感じられるという結果になった。

実験 2, 3, 4 の結果から、基準間隔が秒以下のときには時間間隔生成による知覚精度の悪化がみられず、秒以上のときには知覚精度が悪化するという、時間間隔範囲依存性が示唆される。これは先行研究によって示唆されていた秒以下と秒以上での時間間隔処理機構が異なるということを反映していると考えられる。また、これらの結果は、非時間的な課題による時間弁別への干渉が秒以上のときのみみられるという先行研究結果 [4] と一致している。したがって、時間間隔生成によって時間間隔弁別のための注意が、同じ時間的課題であるにもかかわらず奪われていることが示唆

される。

しかし、実験1では秒以下・以上に関わらず時間間隔生成による悪化がみられたことから、秒以下であっても自身が生成した時間間隔の知覚には、時間文脈に依存して影響を受けると考えられる。実験1では秒以下・以上までの範囲で基準間隔がランダムに呈示されているため、秒以下の直前の試行で秒以上の基準間隔が呈示されることがある。秒以下と秒以上の時間間隔処理機構が異なるとする仮説が正しいとすると、基準間隔を聴取している間にこれらの処理機構の切り替えを行う必要がある。このような切り替えが時間弁別に影響を与えると考えると実験1での結果を説明することができる。

また、実験1,3では自身の行為によって生成した時間間隔が短く感じられるような結果になった。先行研究において、時間的課題と同時に行われる非時間的な課題によって時間に対する注意が奪われることで主観的時間が短くなることが知られている[6]。したがって、時間判断に対する注意が時間間隔生成により奪われることで主観的時間が短くなったと解釈できる。

しかし、実験4では秒以上で時間判断精度の低下がみられたにもかかわらず、主観的時間の短化はみられなかった。実験4ではある一定の基準間隔が呈示され続けるような条件であったため、その時間間隔に対する順応が起きていた可能性がある。事実、先行研究により順応による時間間隔残効が示されている[7]。時間間隔残効とは、すなわち、ある時間間隔を続けて呈示した後、それよりも長い（もしくは短い）時間間隔がより長く（短く）感じられる現象のことである。したがって、ある時間間隔に対して順応することによって、順応した時間間隔からの逸脱に対して敏感になることが示唆される。この逸脱に対する感度の向上が主観的時間の短化の効果を弱めている可能性がある。

## 参考文献

- [1] Hagura, N., Kanai, R., Orgs, G., and Haggard, P. (2012). Ready steady slow: action preparation slows the subjective passage of time. *Proc. Biol. Sci.* 279, 4399–406. doi:10.1098/rspb.2012.1339.
- [2] Manning, F., and Schutz, M. (2013). “Moving to the beat” improves timing perception. *Psychon. Bull. Rev.* 20, 1133–1139. doi:10.3758/s13423-013-0439-7.
- [3] Lewis, P. A., and Miall, R. C. (2003). Distinct systems for automatic and cognitively controlled time measurement: Evidence from neuroimaging. *Curr. Opin. Neurobiol.* 13, 250–255. doi:10.1016/S0959-4388(03)00036-9.
- [4] Rammsayer, T., and Ulrich, R. (2011). Elaborative rehearsal of nontemporal information interferes with temporal processing of durations in the range of seconds but not milliseconds. *Acta Psychol. (Amst)*. 137, 127–133. doi:10.1016/j.actpsy.2011.03.010.
- [5] Grondin, S., Meilleur-Wells, G., and Lachance, R. (1999). When to start explicit counting in a time-intervals discrimination task: A critical point in the timing process of humans. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 25, 993–1004. doi:10.1037/0096-1523.25.4.993.
- [6] Brown, S. W. (1997). Attentional resources in timing: interference effects in concurrent temporal and nontemporal working memory tasks. *Percept. Psychophys.* 59, 1118–1140. doi:10.3758/BF03205526.

- [7] Shima, S., Murai, Y., Hashimoto, Y., and Yotsumoto, Y. (2016). Duration adaptation occurs across the sub- and supra-second systems. *Front. Psychol.* 7. doi:10.3389/fpsyg.2016.00114.