

時間縮小錯覚におよぼす区切り音の強さの影響

柿葉 美帆 中島 祥好

九州芸術工科大学 音響設計学科

〒815-0032 福岡市南区塩原4丁目9-1

概要

両端を短音で区切られた標準時間 S の前に、それより短い先行時間 P が隣接しているとき、 S の長さが著しく過小評価される現象を、時間縮小錯覚という。これまでの研究では、標準時間 S と先行時間 P との関係が $P+65 \leq S \leq P+95$ [ms] のとき、 S の過小評価量が最大になることがわかっている。本研究では、時間間隔を区切る純音の音圧レベルを、55, 75, 95 dB(A) の3段階に変化させ、時間縮小錯覚の量におよぼす音圧レベルの影響を調べた。その結果、いずれの音圧レベルにおいても、 P を隣接させたときに S の過小評価が生じ、音圧レベルに関係なく、時間縮小錯覚の生じることが確認された。

On the influence of the intensity of duration markers on time-shrinking

Miho KAKIBA and Yoshitaka NAKAJIMA

01a48@rms.kyushu-id.ac.jp nakajima@kyushu-id.ac.jp

Department of Acoustic Design, Kyushu Institute of Design

4-9-1 Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka 815-0032, JAPAN

The duration of a short empty time interval presented auditory can be underestimated when it is immediately preceded by a physically shorter empty interval, and the underestimation is the largest when the standard duration to be judged, S , exceeds the preceding duration, P , by 65-95 ms. This illusion is called *time-shrinking*. In the present study, the influence of the intensity of the duration markers on the occurrence of time-shrinking was investigated. The sound pressure level of the duration markers was varied from 55 to 95 dB(A). It turned out that the occurrence of time-shrinking was not affected by the intensity of the duration markers.

1. はじめに

日常生活において、我々は、音楽や言葉などの音情報の時間パターンを知覚することによって、耳に入ってくる音を意味のある情報として捉えることができる。したがって、時間パターンをどのように知覚しているかを調べることは、音楽や言葉をどのように知覚しているかを考えるうえで重要である。本研究では、時間間隔の知覚における錯覚現象である時間縮小錯覚を取り上げ、どのような条件下で錯覚が生じるのかについて、時間間隔を区切る刺激の特性に

注目して考察する。

2. 時間縮小錯覚とは？

ごく短い音で区切られた時間間隔 S (以下、標準時間) が単独で呈示されるときよりも、 S よりも短い時間間隔 P (以下、先行時間) を隣接させて呈示したときの方が、 S が短く感じられる現象、つまり先行時間 P のために標準時間 S に過小評価が生じる現象を、時間縮小錯覚という(図1参照)。なお、本研究内における時間間隔とは、区切り音の始まりから次の区切り音の始まりまでの

長さのことである。この錯覚現象は、Nakajima, ten Hoopen, と van der Wilk (1991) が報告した現象で、その後の研究において、区切り音に純音や音声(白川, 1996)、楽器音(石浦, 1996)を用いたり、音ではなく視覚刺激である光を用いた研究が行われてきた(Arao, Suetomi and Nakajima, 2000)。その結果、時間間隔を区切る刺激の性質が異なっても、時間縮小錯覚が生じることが確認されている。しかしながら、区切り刺激の性質によって、錯覚の生じる範囲ないし程度が異なる場合があり、区切り刺激の性質が時間長の知覚に影響を及ぼすと考えられている。

例えば、区切り刺激に 10 ms 程度の短音を用いた場合、およそ先行時間 $P \leq 200$ [ms]において、標準時間 S が $P+95$ ms 以下の範囲で安定して錯覚が生じる。 $P=240$ [ms]付近でも錯覚が生じるが、錯覚の生じ方が弱く、 P の値が大きくなるにつれて、錯覚が生じなくなる(例えば Ten Hoopen et al., 1993, 1995)。一方、区切り刺激に光を用いた場合では、短音の場合と異なり、先行時間 $P=400$ [ms]においても錯覚が生じる(Arao, Suetomi and Nakajima, 2000)。さらに、短音を用いた場合では、 $P+65 \leq S \leq P+95$ [ms]の範囲において、錯覚が最も顕著であるのに対して、光を用いた場合では、 S/P がおよそ 1.5 であるときに錯覚が最も顕著であるという結果が得られている。このように、聴覚刺激と視覚刺激とにおいて錯覚が生じる時間条件が大幅に異なることは、注目すべき点である。

一方、区切り刺激に、音声や楽器音を用いた場合には、個人差が大きく、錯覚の生じる時間条件について、統一的に記述するに至っていない。このように、区切り刺激に様々な性質のものが用いられてきているが、区切り刺激に短音を用いた実験は、いずれも、短音の音圧レベルが 90 dB(A)前後で行われており、区切り音の音圧レベルが、時間縮小錯覚に影響を及ぼすのかどうかについては、まだ明らかにされていない。そこで本研究では、区切り音の音圧レベル

表1 時間縮小錯覚の生じる条件

	短音	光
錯覚が明確に生じるPの条件	およそ $P \leq 200$ [ms]	$P=400$ [ms]でも起こる。上限は不明
錯覚が最も大きく生じる条件	$P+65 \leq S \leq P+95$ [ms]	$S/P \approx 1.5$

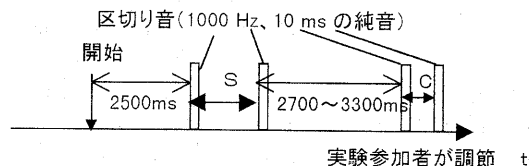
を変化させ、時間縮小錯覚が同じように生じるのかどうか確かめる実験を行った。

3. 実験

3-1、音刺激

標準時間 S の時間間隔の知覚において、先行時間 P の影響を見るために、図1のように、標準時間 S を単独で呈示する対照条件と、標準時間 S の前に先行時間 P を隣接させて呈示する先行時間条件との2つの条件を用いた。

対照条件



先行時間条件

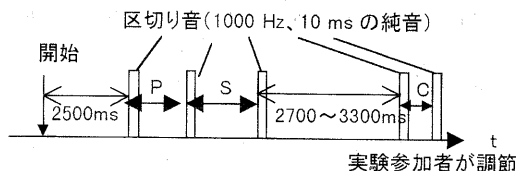


図1 実験の音刺激
Pは先行時間、Sは標準時間、Cは実験参加者が調節する比較時間を示す。

全ての区切り音に、1000 Hz、10 ms の純音 (2 ms の立ち上がり、立ち下がりを含む) を用い、呈示レベルは、区切り音と等しい振幅をもつ定常音のA特性音圧レベルで55,

75, 95 dB(A)の3段階に設定し、先行時間 $P=80, 160, 240, 320$ [ms]の4段階、標準時間 S は $S=P, P+40, P+80, P+120, P+160$ [ms]の5段階とした。(表2参照)

音刺激の種類は、先行時間条件120種類[音圧レベル3段階×先行時間4段階×標準時間5段階×系列2種類(上昇系列、下降系列)]と、対照条件66種類[音圧レベル3段階×標準時間11段階(80, 120, 160, 200, 240, 280, 320, 360, 400, 440, 480 ms)×系列2種類]とを合わせて、全186種類となる。これら186種類の音刺激を、音圧レベルごとにランダムに並べ、それぞれの音圧レベルごとに12~13試行ずつ5ブロックに分け、計15ブロックをランダムに並べた。したがって、ブロック内の音刺激の音圧レベルは一定である。また、各ブロックの最初に、2試行のウォーミングアップ試行を加え、1ブロック14~15試行とした。さらに、これらの試行を行う前に、練習試行として、それぞれの音圧レベルにおいて11試行ずつ、計33試行を3ブロックに分けたものを加え、合計18ブロックを実験参加者に呈示した。

3-2、実験方法

実験で用いる音刺激の作成、呈示、制御は、パーソナルコンピュータ(Commodore Amiga 500)で行った。コンピュータで作成された音刺激は、バンドパス・フィルタ(NF ELECTRONIC INSTRUMENTS DV-6BW (800-1250 Hz))を通り、アンプ(Victor AX-Z511)で増幅され、アンプのヘッドホン端子を通して、ヘッドホン(SENNHEISER HD200)から実験参加者の片耳(実験参加者7名中、4名は左耳、3名は右耳)に呈示された。

実験参加者は、正常な聴力を持つ九州芸術工科大学の学生7名(年齢22歳~24歳、男4名、女3名)である。

コンピュータ画面の「Presentation」ボタンを押すと、およそ2.5秒後に対照条件、先行時間条件いずれかの音刺激が呈示される。実験参加者には、対照条件、先行時間

条件のいずれにおいても、標準時間 S のおよそ3000 ms後に呈示される比較時間の時間間隔を、標準時間 S と同じ長さに聞こえるように調整してもらった(調整法)。そして、調整の結果得られた比較時間 C の物理的な長さを、主観等価値とした。

表2 実験で用いた音刺激の条件

レベル	条件	先行時間: P	標準時間:S
[dB]		[ms]	[ms]
55 75 95	対照条件	0	80
		0	120
		0	160
		0	200
		0	240
		0	280
		0	320
		0	360
		0	400
		0	440
		0	480
	先行時間 条件	80	80 ($S=P$)
		80	120 ($S=P+40$) ↓*
		80	160 ($S=P+80$) ↓*
		80	200 ($S=P+120$)
		80	240 ($S=P+160$)
		160	160 ($S=P$)
		160	200 ($S=P+40$) ↓*
		160	240 ($S=P+80$) ↓*
		160	280 ($S=P+120$)
		160	320 ($S=P+160$)
		240	240 ($S=P$)
		240	280 ($S=P+40$) ↓*
		240	320 ($S=P+80$) ↓*
		240	360 ($S=P+120$)
		240	400 ($S=P+160$)
		320	320 ($S=P$)
		320	360 ($S=P+40$)
		320	400 ($S=P+80$)
		320	440 ($S=P+120$)
		320	480 ($S=P+160$)

↓:過小評価 * :有意水準5%

3-3. 結果と考察

音圧レベル 95 dB(A) の条件は、過去に行われた研究とほぼ同じ条件であり、先行時間 $P \leq 200$ [ms] において標準時間 S が $P+95$ ms 以下の範囲で錯覚が安定して生じることが予想される。音圧レベル 95 dB(A) における実験結果と、75, 55 dB(A) における実験結果とで差が生じるのかどうか見ることによって、時間縮小錯覚に、区切り音の音圧レベルが影響するのかどうかを検討する。

図 2 に、結果のグラフを示す。これらのグラフは、実験参加者 7 名全員のデータを平均したものを、先行時間ごとに分けて示したものである。横軸には標準時間 S を $S-P$ の値で表示している。縦軸には、どの程度錯覚が生じているのかを「過大評価量」の値によって示す。過大評価量は、対照条件と先行時間条件とにおける主観的等価値の差の値である。正の値をとると、対照条件と比較して先行時間条件の方が、標準時間を過大評価していることを表し、負の値をとると過小評価していることを示す。

まず、過去の研究における条件に近い、音圧レベル 95 dB(A) の場合の結果を見ると、先行時間 $P=80, 160, 240$ [ms] の条件において、 $S-P$ が 120 ms 未満の範囲で、標準時間 S の過小評価が生じていることが分かる。この結果は、先行時間 $P \leq 200$ [ms] において標準時間 S が $P+95$ ms 以下の範囲で安定して錯覚が生じるという、過去の研究結果に対応している。ただ、 $P=160$ [ms] の場合には、過小評価の程度が小さく、今後実験参加者を増やして検討することが必要である。音圧レベルが 55, 75 dB(A) の条件でも、先行時間 $P=80, 160, 240$ [ms] において、95 dB(A) の条件と同様の範囲で標準時間 S の過小評価が生じている。過小評価が生じている条件では、ほとんどの場合 $S-P=80$ [ms] のときに、過小評価が顕著に現れている。この結果も、 $S \div P=80$ [ms] のときに錯覚が最も顕著であるという過去の研究結果と対応している。このことから、音圧レベルが 75, 55 dB(A) の場合にも、95 dB(A) の

場合と同様に、時間縮小錯覚が生じたと考えられる。

音圧レベルが時間縮小錯覚に影響を及ぼすかどうかさらに調べるために、各先行時間 P の条件ごとに、「音圧レベル」(95, 75, 55 dB(A) の 3 水準)、先行時間 P が隣接しているかしていないかを示す「先行時間の有無」(対照条件、先行時間条件の 2 水準)、「標準時間」($S-P$ の値で示し、0, 40, 80, 120, 160 の 5 水準)の 3 つの要因について、対応のある三元配置分散分析を行った。その結果、 $P=80$ [ms] の場合には、「先行時間の有無」($F(1, 6)=8.416, p<.05$)、「標準時間」($F(4, 24)=169.390, p<.05$)、「先行時間の有無と標準時間の交互作用」($F(4, 24)=169.390, p<.05$) が有意になった。また、 $P=160, 240$ [ms] の場合には、「標準時間」($P=160:F(4, 24)=273.229, p<.05$ 、 $P=240:F(4, 24)=239.967, p<.05$)、「先行時間の有無と標準時間の交互作用」($P=160:F(4, 24)=3.493, p<.05$ 、 $P=240:F(4, 24)=8.353, p<.05$) が有意となり、 $P=320$ [ms] の場合には、「標準時間」($F(4, 24)=155.197, p<.05$) が有意となった。「音圧レベル」の関係する主効果、交互作用は、いずれの条件においても、有意ではなかった。このことは、時間縮小錯覚において、音圧レベルの影響が大きくないことを示している。

さらに、「先行時間の有無と標準時間の交互作用」が有意であった $P=80, 160, 240$ [ms] の条件について、「先行時間の有無」の要因の効果が、「標準時間」の要因のどの水準において有意であるのかを調べるために、表 1 に示す全ての先行時間 P と標準時間 S との組み合わせごとに、「音圧レベル」と「先行時間の有無」の 2 要因の対応のある二元配置分散分析を行った。その結果、表 1 に示したように、 $P=80, 160, 240$ [ms] において、 $S-P=40, 80$ [ms] ($P=80, S=120:F(1, 6)=75.574, p<.05$ 、 $P=80, S=160:F(1, 6)=17.197, p<.05$ 、 $P=160, S=200:F(1, 6)=87.940, p<.05$ 、 $P=160, S=240:F(1, 6)=15.767, p<.05$ 、 $P=240, S=280:$

$F(1, 6)=26.367$, $p<.05$ 、 $P=240$, $S=320$: $F(1, 6)=66.891$, $p<.05$ のときに、「先行時間の有無」の主効果が有意となった。以上の分析結果は、先行時間 $P=80, 160, 240$ [ms] において、標準時間 $S=P+40$, $P+80$ [ms] のときに、音圧レベルに関係なく時間縮小錯覚が生じていることを示唆している。

4. 今後の課題

これまでの研究によって、聴覚に関する限り、どのような時間条件において時間縮小錯覚が生じるかについて、おおむね明らかになっている。しかしながら、聴覚、または視覚のどのような処理メカニズムによって錯覚が生じるのかについては明らかで

はない。時間縮小錯覚の生じる範囲が、視覚刺激を用いた場合と聴覚刺激を用いた場合とで異なることから、個々の感覚様相の処理過程と関連があるのではないかと考えられるが、推測の域をでない。そこで、この錯覚現象が、末梢から脳に至る処理過程のどの段階と関連があるのかについて、まずは聴覚処理過程から調べる予定である。具体的には、区切り音に、両耳分離呈示の音刺激を用いることを考えている。この音刺激は、図 1 と同様の時間パターンであるが、区切り音以外の部分に、両耳同位相のランダムノイズを呈示し、区切り音に相当する部分において、両耳間の位相関係を逆位相にする。すると、逆位相の部分が、ランダムノイズの中から浮かび上がって聞こ

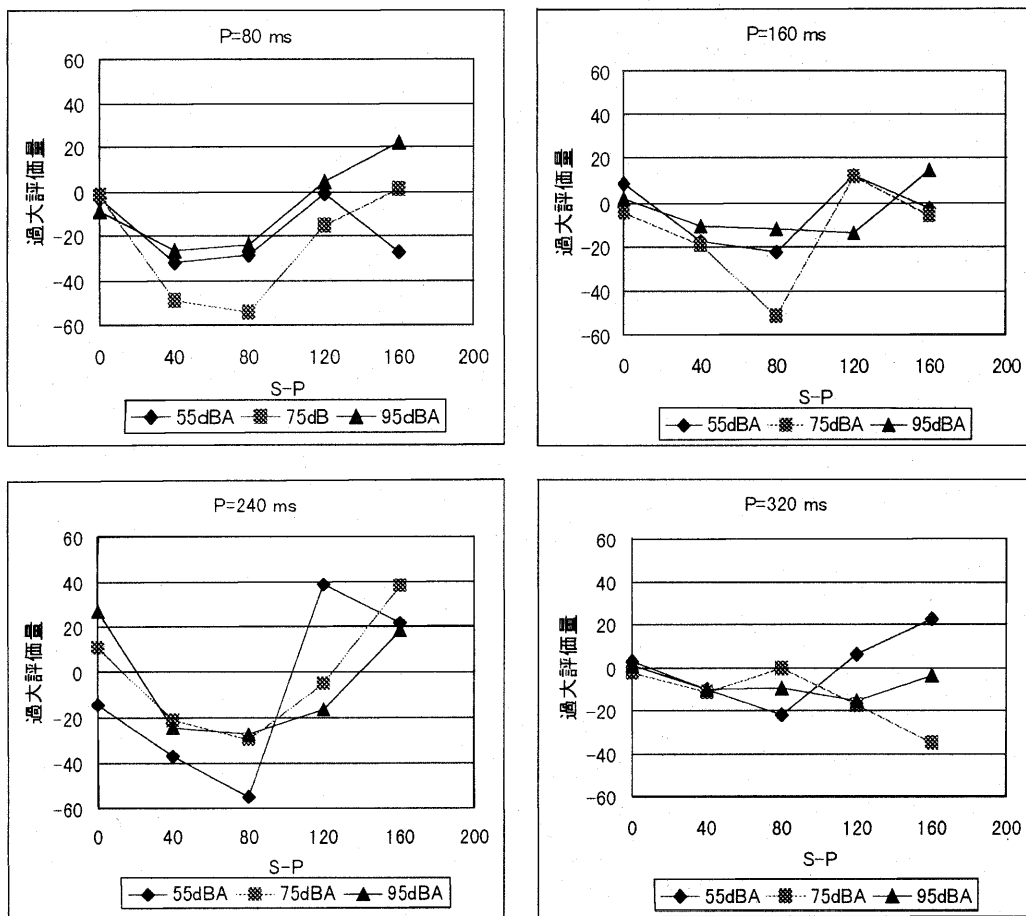


図 2 実験参加者 7 名のデータを平均し、先行時間ごとに示す。

える。しかし、片耳のみで聞いた場合には、この浮かび上がって聞こえる音が聞こえず、一様のランダムノイズのみが聞こえる。この浮かび上がる音は、両耳間の位相関係を検知することによって初めて知覚される音、すなわち、両耳間の入力信号を比較、統合する処理段階（上オリーブ周辺）で生じる音であると考えられる。このような音刺激を用いた場合に、時間縮小錯覚が生じるかどうかを調べることによって、この錯覚現象に、上オリーブよりも末梢の段階が深く関わっているのか、より高次の段階が深く関わっているのかを検討することができる。実際に、この音刺激を用いて、先行時間 $P=80$ [ms]、標準時間 $S=160$ [ms] の条件で試聴したところ、40 ms 程度の過小評価が生じた。今後、この音刺激を用いた実験データを取り、時間縮小錯覚と聴覚処理過程の関係を明らかにし、聴覚における時間縮小錯覚が生じる仕組みの解明につなげたいと考えている。

参考文献

Arao, H., Suetomi, D., & Nakajima, Y. (2000). Does time-shrinking take place in visual temporal patterns?, *Perception*, 29, 819-830.

Nakajima, Y., ten Hoopen, G., & van der Wilk, R. (1991). A new illusion of time perception, *Music Perception* 8, 431-448.

Nakajima, Y., ten Hoopen, G., Hilkuysen, G., and Sasaki, T. (1992). Time-shrinking: A discontinuity in the perception of auditory temporal patterns, *Perception & Psychophysics*, 51, 504-507.

Ten Hoopen, G., Hartsuiker, R., Sasaki, T., Nakajima, Y., Tanaka, M., & Tsumura, T. (1995). Auditory isochrony: time shrinking and temporal patterns, *Perception*, 24, 577-593.

Yamashita, M., & Nakajima, Y. (1999). The effect of marker duration on time-shrinking. In suk Won Yi (Ed.), *Music, Mind, and Science*. Seoul: Seoul National University Press. pp.211-218.

白川憲一 (1996). 音声聴取時における時間縮小錯覚とモーラ構造, 平成7年度 九州芸術工科大学 修士論文

石浦謙 (1996). 楽器音聴取時における時間縮小錯覚の有無について, 平成7年度 九州芸術工科大学 卒業論文