九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

# Effects of the temporal structure of sound markers on rhythm perception

蓮尾, 絵美
九州大学大学院芸術工学府中島研究室

https://doi.org/10.15017/19760

出版情報：九州大学, 2010, 博士（芸術工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

# 第3章　隣接する時間間隔の知覚

## 3.1　はじめに

本章では，第2章で二つの区切音からなる単独の時間間隔を用いて確認された区切音の持続時間の効果が，時間間隔が隣接するパターンにおいても見られるかを調べた。

私たちが音楽や音声などのリズムを知覚する際には，次々と鳴らされる音によって示されたいくつもの隣接する時間間隔の長さを聴いているといわれている (Handel, 1993; Patel, 2008)。そのため，時間間隔が単独で存在するときだけでなく，その前後にも音が有り，複数の時間間隔が隣接しているときの知覚を調べることは，非常に単純なパターンを用いた時間知覚研究で得られた知見をリズム知覚と結び付けるうえで重要である。本章では，その第一歩として，三つの区切音からなる時間パターンを用いた。

三つの区切音を用いることにより，二つの隣接する時間間隔を示すことができる。ここでは，第1区切音 (first marker) と第2区切音 (second marker) によって示された最初の時間間隔をT1，第2区切音と第3区切音 (third marker) によって示された続く時間間隔をT2と呼ぶ (図3.1)。もし，単独の時間間隔において見られたように，時間間隔の終わりを示す音が長くなると時間間隔の主観的な長さが長くなるのであれば，T1の終わりを示す第2区切音が長くなるとT1の主観的な長さが長くなり，T2の終わりを示す第3区切音が長くなるとT2の主観的な長さが長くなると予想できる。三つの区切音のうち，どの区切音の持続時間がどちらの時間間隔の知覚に影響したかを考察しやすくするため，本章で行った実験では，三つの区切音の持続時間をそれぞれ独立に変化させた。

なお，扱う時間間隔の数が二つに増えたことにより，それぞれの時間間隔の知覚が前後の時間間隔の影響を受けることが考えられる (e.g. Schulze, 1989; Sasaki, Suetomi, Nakajima, & ten Hoopen, 2002)。特に，本章で扱うような非常に短い時間間隔においては,「時間縮小錯覚」という錯覚現象が生じることが知られている (Nakajima, ten Hoopen, & Wilk, 1991; Nakajima et al., 1992, 2004)。時間縮小錯覚とは，T1がT2よりも少し短いとき，T2の主観的な長さが，T2が単独で呈示されるときよりも著しく過小評価される現象である。典型的な時間縮小錯覚は，T1が200 ms以下のときに生じ，T2−T1 = 80 msのときに錯覚量 (T2の過小評価量) が最も大きくなるといわれている (Nakajima et al., 2004)。時間縮小錯覚が生じることにより，T1とT2の長さが主観的に近付くため，時間縮小錯覚は同化現象の一種であるといえる (Nakajima et al., 2004)。また，時間縮小錯覚よりは変化量は小さいが，T1の主観的な長さがT2に影響されるかたちで逆方向の同化が生じることもある (Miyauchi & Nakajima, 2005)。このような同化により，T1とT2の長さが物理的に等しくなくても１：１に知覚される「１：１カテゴリ」が存在し，その範囲は-80 ms<T1−T2<50 msであるといわれる (Miyauchi & Nakajima, 2007; Mitsudo et al., 2009)。このような時間的同化は，本章

の刺激パターンにおいても生じることが考えられた。

そこで，本章では，T1 と T2 それぞれの主観的な長さだけでなく，T1 と T2 の主観的な長さの関係 (T1 と T2 が主観的に等しいかどうか) にも着目した。1：1 カテゴリの範囲を調べた先行研究 (Miyauchi & Nakajima, 2007) では，10 ms 程度の非常に短い区切音が用いられていた。もし，第 2 章で示されたように，区切音の持続時間が時間間隔の主観的な長さに影響するのであれば，隣接する時間間隔の同化の生じ方にも，区切音の持続時間が影響する可能性がある。また，時間縮小錯覚に関しては，区切音が長くなると錯覚量が小さくなるとした実験結果も報告されていた (Yamashita & Nakajima, 1999; Fujishima & Nakajima, 2006)。そこで，本章では T1 と T2 の主観的な長さの関係にも着目して結果を整理し，区切音の持続時間によって，時間的同化の生じ方がどのように変わるかも調べた。このような，隣接する時間間隔の長さの関係は，リズム知覚において非常に重要であり (e.g. Desain & Honing, 2003)，区切音の持続時間の効果を日常のリズム知覚と結び付けるうえで重要である。

## 3.2　目的

三つの区切音で示された二つの隣接する時間間隔 (T1，T2) を用いて，区切音自体の持続時間が，時間間隔の主観的な長さにどのように影響するかを調べた。特に，第 2 章で単独の時間間隔を用いて示された区切音の持続時間の効果 (時間間隔の終わりを示す区切音が長くなるとその時間間隔の主観的な長さが長くなるという傾向) が，時間間隔が隣接するパターンにおいても現れるか，また，二つの時間間隔における時間的同化の生じ方が，区切音の持続時間によって変化するかどうか，という二点を調べることを目的とした。

実験 4 と実験 5 とでは，用いた刺激が共通しており，実験参加者が行う課題が異なっていた。実験 4 では，実験参加者は，隣接する二つの時間間隔が等しいかどうかを判断した。実験 5 では，隣接する二つの時間間隔それぞれと等しく感じられるよう，後で呈示された単独の時間間隔を調整した。実験 4 の実験方法は，自然にリズムを聴いている状態に近い聴き方をさせる課題を用いており，リズム知覚研究に近い実験であった。一方，実験 5 の実験方法は，第 2 章の実験や，時間縮小錯覚の実験など，典型的な精神物理学の実験と同様の実験方法であり，時間知覚研究に近い実験であった。この 2 種類の課題を用いることにより，区切音の持続時間の効果がその課題に依存したものであるかどうかを確認するとともに，実験結果を古典的な時間知覚実験 (e.g. Woodrow, 1928; Yamashita & Nakajima, 1999) から，より自然な状況におけるリズム知覚実験 (e.g. Schubert & Fabian, 2001) まで，より幅広い研究結果と結び付けることが可能になった。

## 3.3　実験 4：隣り合う時間間隔の長さの比較

### 3.3.1　目的

区切音の持続時間が，隣接する時間間隔の知覚にどのような影響を及ぼすかを調べることを目的とした。

### 3.3.2　実験方法

実験 4 では，二つの隣接する時間間隔 (T1 と T2) を示す三つの区切音の持続時間をそれぞれ変化させ，実験参加者に T1 と T2 のどちらが長く聴こえたか，または T1 と T2 が等しい長さに聴こえたか，の判断を求めた。もしも区切音の持続時間が T1 と T2 の主観的な長さに影響すれば，T1 と T2 が等しいと判断される時間パターンの範囲が，区切音の持続時間によって変化することとなる。

#### 刺激

継時的に鳴らされる三つの区切音から構成される音パターンを刺激として用いた (図 3.1)。区切音の持続時間には，20, 60 ms の 2 種類を用いた。全ての区切音は 1000 Hz の純音で，10 ms の立ち上がりおよび立ち下がり時間を含む (包絡はコサイン曲線の半周期分)。音の持続時間によって，各区切音の主観的な大きさに違いが生じてしまうことをできる限り防ぐため，どの区切音も総エネルギーが等しくなるようにした (Scharf, 1978)。呈示レベルは，実験で用いた 20 ms の音と同じ振幅の定常音の音圧レベルが 80 dBA となるように設定した。音圧レベルの測定には，人工耳 (Brüel & Kjær Type 4153) および騒音計 (Node Type 2075) を用いた。

T1 と T2 を示す三つの区切音には，この 2 種類の区切音を用いて作ることのできる全ての組み合わせを用いた。全体の長さ，すなわち T1 ＋ T2 は，240, 480 ms の 2 種類とした。よっ

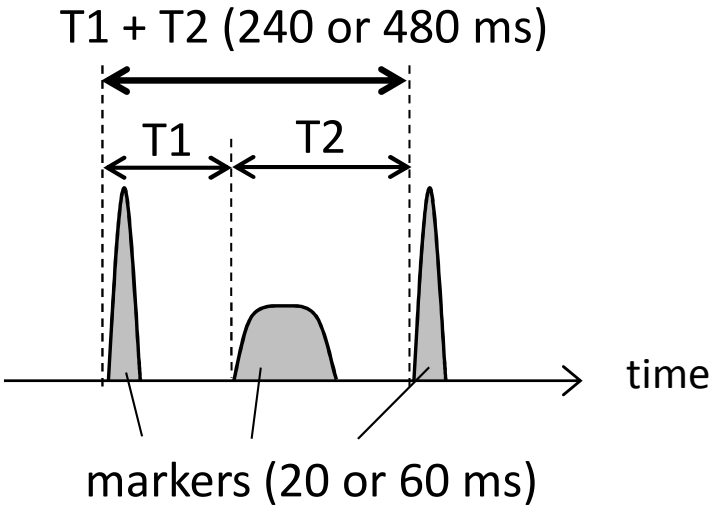


Fig. 3.1　T1 および T2 の模式図。T1 は第 1 区切音の始まりから第 2 区切音の始まりまでの時間間隔であり，T2 は第 2 区切音から第 3 区切音までの時間間隔であった。実験 4 および実験 5 で用いた区切音は，10 ms の立ち上がりおよび立ち下がり時間を含む 20 ms もしくは 60 ms の音であった。60 ms の区切音のほうが 20 ms の区切音よりも振幅が小さいのは，全ての区切音の総エネルギーをそろえていたためである。この模式図は，区切音の組み合わせが 20-60-20 ms のパターンを示す。

て，実験条件は 16 種類となった [2 (第 1 区切音の持続時間) × 2 (第 2 区切音の持続時間) × 2 (第 3 区切音の持続時間) × 2 (全体の長さ)]。

全体の長さが 240 ms で，第 1 区切音が 20 ms の場合には，T1 の物理的な長さを 40 ms から 160 ms まで 10 ms の幅で段階的に変化させた 13 種類の時間条件を用いた。ただし，第 1 区切音が 60 ms の場合には，70 ms から 160 ms までの 10 種類を用いた。第 1 区切音の持続時間によって時間条件の数が異なるのは，第 1 区切音と第 2 区切音が時間的に重なってしまうのを避けるためである。全体の長さが 480 ms のときは，T1 の物理的な長さを 140 ms から 320 ms まで 20 ms の幅で段階的に変化させた 10 種類の時間条件を用いた。なお，全体の長さを固定しているため，T2 の長さは T1 を長くするに従って同じ幅で段階的に短くなった。よって，全時間条件数は，172 種類であった。

以後，時間パターンを“ /T1/T2/ ” (T1 と T2 の長さの単位は ms) と表す。

### 実験環境

実験は，暗騒音 30 dBA 以下の防音室内で行われた。刺激パターンは，パーソナルコンピュータ (Dell Precision M60) で作成した。刺激の呈示は，AV タキストスコープ (Iwatsu IS703) で行い，ローパスフィルタ (NF DV8FL 16kHz)，アンプ (Stax SRM323A)，ヘッドホン (Stax SR303) を通して実験参加者の片耳に呈示した[1]。呈示耳は，実験参加者の半数は右耳，残りの半数は左耳とした。刺激の呈示レベル等は，人工耳 (Brüel & Kjær Type 4153)，騒音計 (Node Type 2072 および Type 2075)，オシロスコープ (Agilent Technologies DSO 6012A)，と音響測定システム (Brüel & Kjær Pulse システム) を用いて測定した。

### 実験手続き

恒常法を用いた。実験参加者には，T1 と T2 の長さについて以下の 3 つの選択肢から選び，該当する回答ボタンを押すことによって回答を求めた。

1. T1 のほうが T2 よりも長く聞こえた (“ T1>T2 ”)
2. T1 と T2 は等しく聞こえた，または T1 と T2 のどちらが長く聞こえたかわからなかった (“ T1=T2 ”)
3. T2 のほうが T1 よりも長く聞こえた (“ T1<T2 ”)

実験参加者には，T1 と T2 はそれぞれ音の始まりから次の音の始まりまでの時間間隔を指し，音の終わりから次の音の始まりまでの無音区間のみを指すわけではないことを教示した。刺激は一度のみ聴くことができ，フィードバックは与えなかった。

各試行の最初の刺激は実験者による合図の後に呈示された。その後，実験参加者が回答ボタンを押すと，2.7-3.3 s 後に次の刺激が呈示された。刺激が呈示されるまでの無音区間は，呈示の都度上記の範囲内でランダムな長さとなるよう設定した。

[1]実験開始前にヘッドホンの左右から同じ位相で音が鳴るかをオシロスコープを用いて確認したところ，刺激呈示に AV タキストスコープを用いた場合に 100 μ s 程度のずれがあったため，本実験では片耳呈示とした。なお，本論文のその他の実験では刺激呈示にパーソナルコンピュータを用いており，その場合はヘッドホンの左右から同じ位相で音が鳴ることが確認できた。

各実験条件につき，10 または 13 種類の時間条件をランダムな順番で呈示し，それに対する一連の判断を 1 試行とみなした。ウォーミングアップ 2 試行と，全実験条件を含む 16 試行との計 18 試行を 1 ブロックとし，一人の実験参加者につき，10 ブロックの測定を行った。また，本実験に入る前に，全実験条件を含む 16 試行を練習ブロックとして行った。各ブロックにおいて実験条件はランダムな順番で呈示された。練習ブロックおよびウォーミングアップ試行において得られたデータは，分析には用いなかった。

1 ブロック (18 試行) あたりの所要時間は約 40 分であり，ブロック間では休憩をとることができた。練習ブロックも含めた実験全体に要した時間は，実験参加者一名につき 6 時間半程度であった。実験参加者はこれを 5 日間から 6 日間かけて行った。

#### 実験参加者

正常な聴力を有する 21 歳から 24 歳までの 8 名 (女性 4 名，男性 4 名) を実験参加者とした。全ての実験参加者は九州大学の学生であり，聴能形成によりある程度の聴覚訓練を受けていた (Iwamiya et al., 2003)。また，全ての実験参加者に 5 年以上の楽器演奏経験があった。

### 3.3.3　結果と考察

各実験参加者から，一つの実験条件について 10 個ずつの回答が得られた。実験参加者ごとに各選択肢の生起頻度を百分率で求め，“ T1≥T2 ”の回答相対頻度が 50 %となる点 (以下，第一閾) と，“ T1>T2 ”の回答相対頻度が 50 %となる点 (以下，第二閾) を求めた (図 3.2)。さらに，第一閾と第二閾との中間点を求めた。この中間点は，三件法の恒常法において求めることができる PSE に相当する値であり (Guilford, 1954)，T1 と T2 が主観的に最も等しくなると考えられる点を表す。この際，一名の実験参加者の回答からは，全体の長さが 240 ms で区切音の組み合わせが 60-20-20，60-20-60，60-60-20，60-60-60 (ms) の 4 つの条件において，“ T1<T2 ”の回答が少なすぎたために第一閾を求めることができなかった[2]。 そのため，この一名の実験参加者のデータを除外し，残りの 7 名のデータを用いて分析を行った。

全実験参加者の第一閾の平均値と，第二閾の平均値を求め，この二つの間の領域を“ $T1 = T2$ ”という知覚の範囲とした。全刺激パターンについての“ $T1 < T2$ ”，“ $T1 = T2$ ”，“ $T1 > T2$ ”の範囲および第一閾と第二閾の中間点の平均を図 3.3 に示す。

全ての刺激パターンにおいて，“ $T1 = T2$ ”の範囲は，物理的に T1=T2 となる点よりも T1 が短い方へ分布していた。これは，時間縮小錯覚が生じたためであると考えられる (Nakajima et al., 2004)。つまり，時間縮小錯覚により T2 が過小評価され，物理的に T1 よりも T2 が少し長い条件においても T1 と T2 が等しく聴こえたと考えることができる (Miyauchi & Nakajima, 2007)。

[2]“ T1<T2 ”の回答が少なかったために第一閾を求められなかったということは，これらの条件において，この実験参加者の第一閾は 70 ms よりも小さかったことを示唆する。しかし，本実験においては，第 1 区切音と第 2 区切音が重なってしまうことを避けるために，T1 が 70 ms よりも短い (T2 が 170 ms よりも長い) 時間パターンを用いることができなかった。また，本実験の目的においては，第一閾と第二閾の値そのものではなく，それぞれの値が区切音の組み合わせによって変化するかどうかということが重要であったため，この一名の実験参加者のデータを除外し，残りの 7 名のデータを用いて分析を行った。

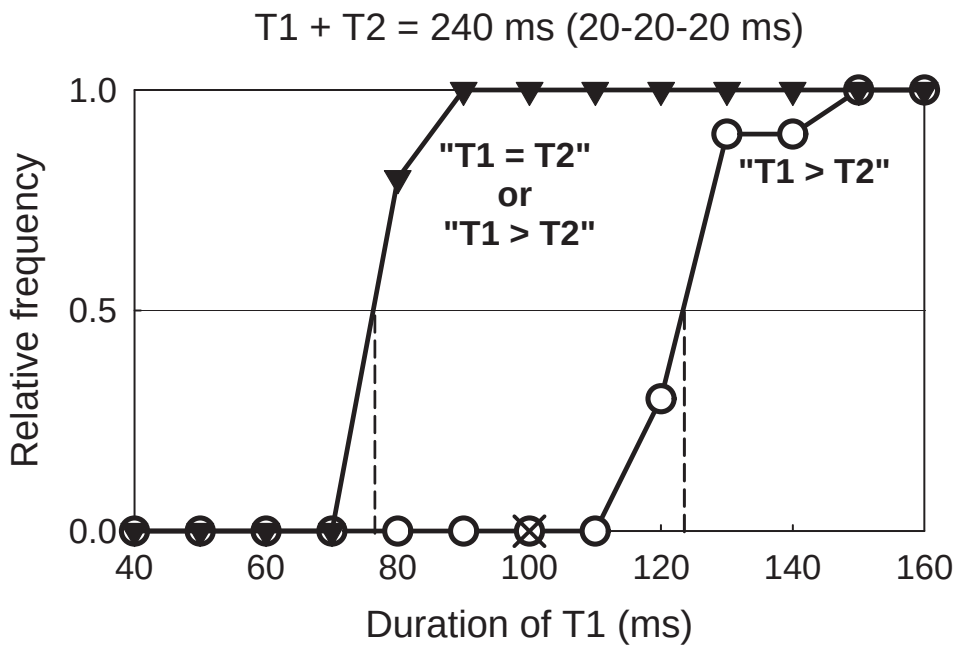


Fig. 3.2　実験 4 で得られた回答の頻度の例。この図では，全体の長さが 240 ms で，区切音の組み合わせが 20-20-20 ms の条件において，1 名の実験参加者から得られた各回答の頻度を示す。黒逆三角で示されている“ T1≥T2 ”の回答相対頻度が 50 %となる点が第一閾であり，白丸で示されている“ T1>T2 ”の回答相対頻度が 50 %となる点が第二閾である。 この図の例では，第一閾は 76 ms，第二閾は 123 ms である。バツ印は第一閾と第二閾の中間点を示す。この図の例では，中間点は 100 ms である。

区切音の持続時間の影響については，第 3 区切音が長くなると，第一閾と第二閾との中間点 (図中のバツ印) は T1 が物理的に長くなる方向へシフトしていた。この結果は，分散分析の結果とも一致していた。全体の長さが 240 ms と 480 ms のそれぞれにつき，第一閾と第二閾との中間点の値を用いて 3 要因 (第 1 区切音の持続時間 × 第 2 区切音の持続時間 × 第 3 区切音の持続時間) の分散分析を行った結果，全体の長さが 240 ms のときには，区切音の持続時間の主効果はいずれも有意ではなかったが ( $p > .05$)，第 1 区切音の持続時間と第 3 区切音の持続時間との交互作用には有意差が認められた［$F\ (1, 6) = 15.626,\ p < .01$］。全体の長さが 480 ms のときは，第 3 区切音の持続時間の主効果は有意であった［$F\ (1, 6) = 6.634,\ p < .05$］。また，第 1 区切音の持続時間と第 3 区切音の持続時間との交互作用にも有意差が認められた［$F\ (1, 6) = 12.754,\ p < .05$］。この交互作用は，第 3 区切音の持続時間の効果が，第 1 区切音が 60 ms のときのほうが 20 ms のときよりも大きかったことと関連付けられる。“ $T1 = T2$ ”の範囲の中間点の位置に関しては，第 2 区切音の持続時間の影響ははっきりとはみられなかった。第 2 区切音は T1 の終わりを示すのと同時に T2 の始まりも示すため，T1 と T2 の両方の知覚に影響した可能性がある。第 2 区切音がどちらの時間間隔の知覚にどのように影響したかは実験 5 において確認した。

また，“ $T1 = T2$ ”の範囲に着目すると，第 2 区切音が 20 ms のときと比べ，60 ms のときのほうが，“ $T1 = T2$ ”の範囲が広くなる傾向がみられた。この傾向は，特に，全体の長

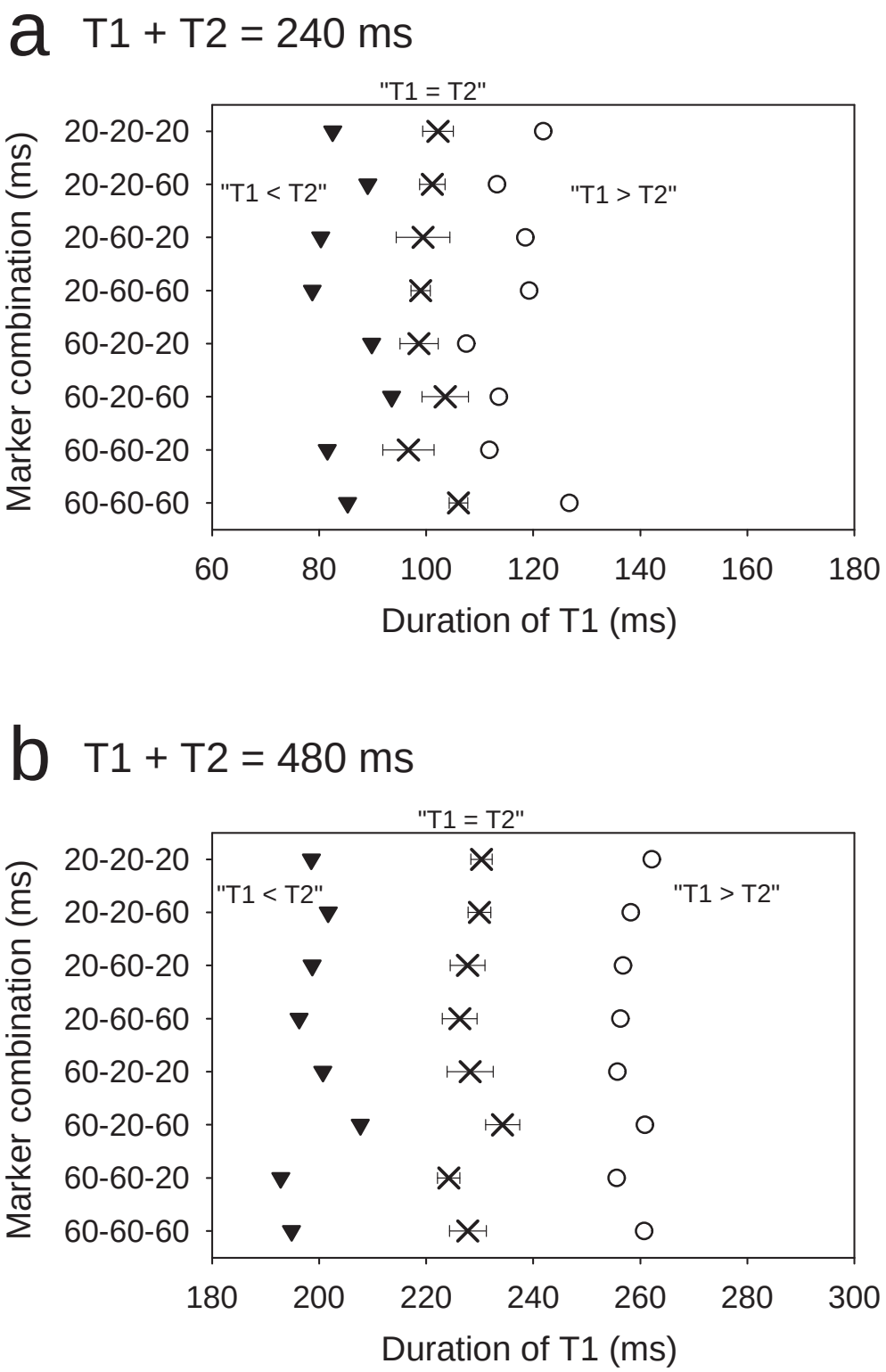


Fig. 3.3　実験 4 で用いた各条件における“ $T1 < T2$ ”, “ $T1 = T2$ ”, “ $T1 > T2$ ”の知覚の範囲。黒逆三角と白丸に挟まれた範囲が，知覚的に“ $T1 = T2$ ”になる範囲であり，黒逆三角よりも T1 が短い範囲を“ $T1 < T2$ ”の範囲，白丸よりも T1 が長い範囲を“ $T1 > T2$ ”の範囲とした。バツ印は，黒逆三角と白丸の中間点を示す。誤差棒は標準誤差を表す。

さが 240 ms のときにはっきりとみられた。“ $T1 = T2$ ”の範囲を全体の長さの半分で割ることによって相対弁別閾を求め，その値を用いて，全体の長さが 240 ms と 480 ms のそれぞれにつき，3 要因 (第 1 区切音の持続時間 × 第 2 区切音の持続時間 × 第 3 区切音の持続時間) の分散分析を行った結果，第 2 区切音の持続時間の主効果は，全体の長さが 240 ms のときにも，全体の長さが 480 ms のときにも，有意であった［順に，$F$ (1, 6) = 37.097, $p < .01$; $F$ (1, 6) = 6.114, $p < .05$］。また，全体の長さが 240 ms のときには，第 1 区切音の持続時間と第 2 区切音の持続時間との交互作用，第 1 区切音の持続時間と第 3 区切音の持続時間との交互作用，第 2 区切音の持続時間と第 3 区切音の持続時間との交互作用にも，それぞれ有意差が認められた［順に，$F$ (1, 6) = 7.356, $p < .05$; $F$ (1, 6) = 18.747, $p < .01$; $F$ (1, 6) =6.472, $p < .05$］。全体の長さが 480 ms のときには，交互作用は，いずれも有意ではなかった ( $p > .05$)。分散分析の結果より，第 2 区切音の持続時間は T1 と T2 が等しいと知覚される範囲に影響することが確かめられた。

区切音の持続時間の効果は，第 2 章で単独の時間間隔を用いて確かめられた区切音の持続時間の効果 (時間間隔の終わりを示す区切音が長くなるとその時間間隔の主観的な長さが長くなるという傾向) と，ある程度一致していた。例えば，実験 4 の結果では，第 3 区切音が長くなると，第 3 区切音が短いときと比べ，T2 が物理的に短く (T1 が長く) ても T1 と T2 が等しく感じられる傾向が示された。このことは，T2 の終わりを示す音である第 3 区切音が長くなると，T2 の主観的な長さが長くなったと考えることで説明できる。

ただし，他の区切音の持続時間の影響については，単独の時間間隔を用いた実験結果と単純に結び付けることはできなかった。

実験 4 では，T1 と T2 の長さを比較するという課題を用いていたため，どちらの時間間隔のほうが長く知覚されたかという情報は得られたが，それぞれの時間間隔の主観的な長さが音の持続時間によってどのように変化したかはわからなかった。そこで実験 5 では，T1 と T2 それぞれの主観的な長さを直接調べた。

## 3.4　実験 5：隣り合う時間間隔の主観的な長さの測定

### 3.4.1　目的

二つの隣接する時間間隔を示す三つの区切音のうち，どの区切音の持続時間が，どちらの時間間隔の主観的な長さに，どのような影響を及ぼすかを調べることを目的とした。

### 3.4.2　実験方法

二つの隣接する時間間隔 (T1 と T2) を示す三つの区切音の持続時間をそれぞれ変化させ，T1 と T2 の PSE を求めた。刺激は実験 4 と同様に，20 ms と 60 ms の区切音を用いて作成し，実験方法は，隣接する時間間隔に生じる同化を調べた Miyauchi and Nakajima (2005) とほぼ同じ方法を用いた。この実験方法は，第 2 章で時間間隔の主観的な長さを求めた方法とも同じであり，時間縮小錯覚の研究にも用いられてきた (e.g. Nakajima et al., 1991, 2004; Yamashita & Nakajima, 1999)。実験 4 と同じ刺激を用い，関連する先行研究と同様の実験

方法を用いたことにより，実験 4 でみられた区切音の持続時間の効果が実験課題に依存したものであったかどうかを確認するとともに，区切音の持続時間が時間縮小錯覚など過去に確認されていた同化現象にどのように影響するかを調べることが可能となった。

### 刺激

標準刺激と比較刺激から成る刺激パターンを用いた (図 3.4)。標準刺激は実験 4 と同様の三つの音で構成された。音の持続時間の組み合わせとしては，20-20-20，60-20-20，20-60-20，20-20-60 (ms) の 4 種類を用いた。比較刺激は，20 ms の音二つによって構成された。再生ボタンを押してから標準時間が始まるまでの長さは 2-2.5 秒で，標準時間の始まりから比較時間の始まりまでの長さは 3-3.5 秒であった。この二箇所の長さは，実験参加者が刺激の始まりを正確に予測することができないようにするため，呈示の都度それぞれの範囲内でランダムに変化させた。

全体の長さ (T1 + T2) は，240, 480 ms の 2 種類であった。全体の長さが 240 ms で第 1 区切音が 20 ms の場合には，T1 は 60 から 160 ms まで 20 ms 幅で段階的に増加させた 6 種類の時間条件を用いた。第 1 区切音が 60 ms の場合には，80 ms から 160 ms の範囲で増加させた 5 種類を用いた。全体の長さが 480 ms の場合には，T1 を 160 ms から 280 ms まで，40 ms 幅で段階的に増加させた 4 種類の時間条件を用いた。実験条件では全ての条件に対し，T1 の主観的な長さを測定する条件 (T1 判断) と T2 の主観的な長さを測定する条件 (T2 判断) とがあったため，実験条件は合計 78 種類 [(23 (T1 + T2 = 240 ms のとき) + 16 (T1 + T2 = 480 ms のとき)) × 2 (T1 判断/T2 判断)] となった。対照条件では，実験条件の T1 および T2 で用いられる全ての音の組み合わせと時間間隔を用いた。よって，対照条件は合計 32 種類となった。

呈示レベルは，実験で用いた 20 ms の音と同じ振幅の定常音の音圧レベルが 80 dBA となるように設定した。音圧レベルの測定には，人工耳 (Brüel & Kjær Type 4153) および騒音計 (Node Type 2075) を用いた。

### 実験環境

実験は，暗騒音 30 dBA 以下の防音室内で行われた。実験プログラムは，パーソナルコンピュータ (Dell Precision M60) 上で，Visual Basic.net を用いて作成した。刺激の作成，呈示は，パーソナルコンピュータ (Frontier KZFM71/N) で行い，オーディオカード (E-MU 0404)，DA 変換器 (Onkyo SE-U55GX)，ローパスフィルタ (NF DV8FL 15kHz)，アンプ (Stax SRM313)，ヘッドホン (Stax SR303) を通して実験参加者の両耳に呈示した。刺激の呈示レベル等は，人工耳 (Brüel & Kjær Type 4153)，騒音計 (Node Type Type 2075)，オシロスコープ (Agilent Technologies DSO 6012A)，と音響測定システム (Brüel & Kjær Pulse システム) を用いて測定した。

### 実験手続き

実験には調整法を用いた。実験参加者は標準時間と比較時間の長さが等しく聴こえるよう，比較時間の長さを調整した。調整は，コンピュータ画面上のボタンやつまみをマウスで操作

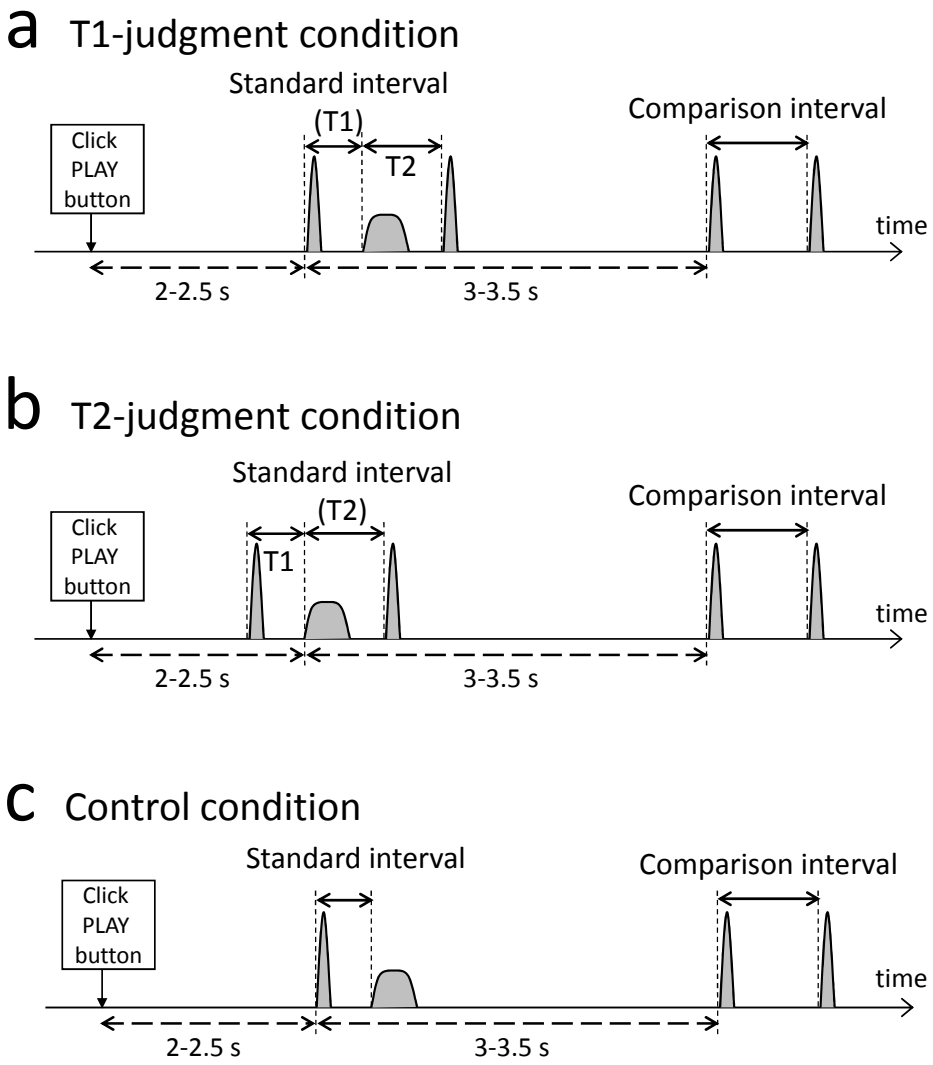


Fig. 3.4　実験 5 の時間チャート。水平軸が時間を表し，右方向が未来方向に対応する。実験参加者は，先に呈示された標準時間 (standard interval) と等しい長さに聴こえるよう，比較時間 (comparison interval) の長さを調整した。a は T1 判断課題 (T1-judgment condition)，b は T2 判断課題 (T2-judgment condition)，c は対照条件 (control condition) を示す。

することによって行われた。実験条件では，標準時間が T1 である場合と，T2 である場合が存在し，どちらに合わせて調整するかはコンピュータ画面上の文字で指示された (図 3.5)。全ての標準時間に対し，上昇系列と下降系列を 1 回ずつ行い，その 2 回の調整結果の平均をその実験参加者のその標準時間に対する PSE とした。

試行数は合計 220 試行 [(78 (実験条件) + 32 (対照条件)) × 2 (系列)] であった。これを 18 または 19 試行ずつ 12 ブロックに分け，それぞれのブロックの始めにウォーミングアップ 2 試行を追加し，1 ブロックあたり 20 または 21 試行として呈示した。また，本実験に入る前に，36 試行をランダムに選び，2 ブロックに分け，練習試行とした。

1 ブロック (20 または 21 試行) あたりの所要時間は約 20 分であり，練習ブロックも含めた

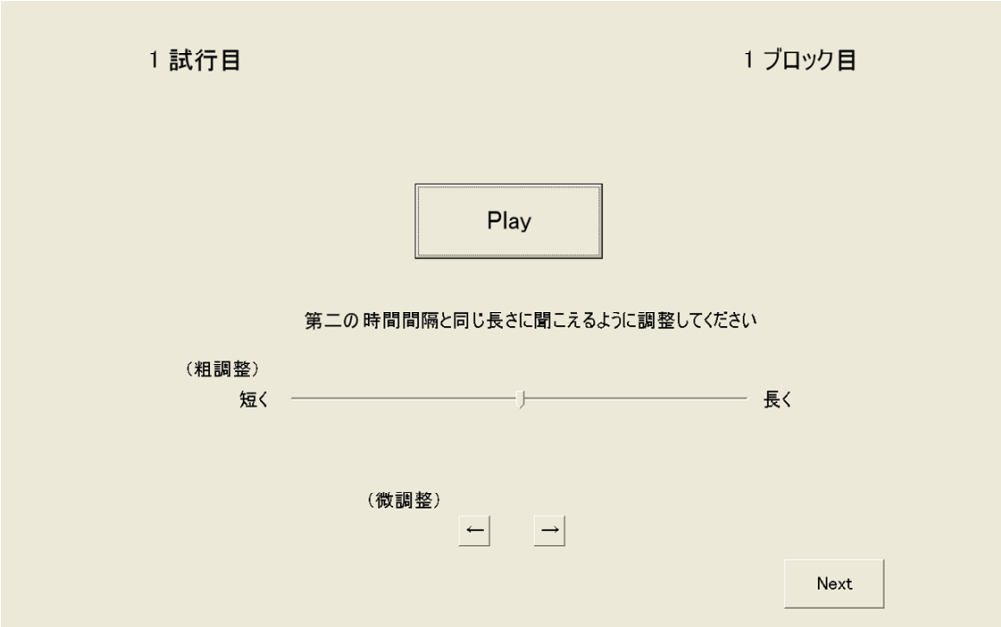


Fig. 3.5　実験 5 で使用したコンピュータ画面。“ Play ”ボタンをクリックすると，図 3.4 に示したような刺激パターンが 1 回呈示された。“ Play ”ボタンの下に，文字で「第一の」「第二の」または「二つの音から構成される」時間間隔と同じ長さに聞こえるように調整するよう表示され，実験参加者はその指示に従って調整を行った。実験参加者は，トラックバーのつまみを“ 短く ”または“ 長く ”の方へドラッグすることにより，比較時間を調整することができた。ドラッグする距離が大きいほど，比較時間の変化量は大きくなった。また，比較時間の微調整を行う際には，“ ← ”ボタンをクリックすると比較時間がわずかに短くなり，“ → ”ボタンをクリックすると比較時間がわずかに長くなった (1 ms の細かさまで調整可能であった)。微調整用のボタンは，押している時間が長いほど，比較時間が大きく変化した。充分に調整し，標準時間と比較時間が同じ長さに感じられると納得したら，“ Next ”ボタンをクリックすることで次の試行に移ることができた。刺激パターンは“ Play ”ボタンをクリックすれば何度でも聴くことができた。

実験全体に要した時間は，実験参加者一名につき 5 時間半程度であった。実験参加者はこれを 4 日間から 6 日間かけて行った。

### 実験参加者

正常な聴力を有する 21 歳から 45 歳までの 8 名 (女性 4 名，男性 4 名) を実験参加者とした。全員が九州大学の学生であった。全員が 7 年間以上の楽器演奏経験があり，5 名は聴能形成による聴覚訓練も受けていた (Iwamiya et al., 2003)。1 名は実験 4 にも参加しており，実験 4 への参加から実験 5 への参加までの期間は 1 年であった。

### 3.4.3　結果と考察

各標準時間について，8 名の実験参加者から 8 個の PSE が得られ，その平均値を求めた。まずは第 1 区切音，第 2 区切音，第 3 区切音のそれぞれの持続時間の影響を見るため，第 1 区切音の持続時間を横軸としたグラフを図 3.7，第 2 区切音の持続時間を横軸としたグラフを図 3.8，第 3 区切音の持続時間を横軸としたグラフを図 3.9 に示す。また，対照条件で得られた PSE を図 3.6 に示す。

対照条件においては，第 2 区切音が 20 ms から 60 ms になると，標準時間の PSE が増加した (図 3.6b)。この結果は，第 2 章で得られた結果と一致していた。また，第 1 区切音の持続時間の影響についても，標準時間が 140-200 ms のときには，第 1 区切音が 20 ms から 60 ms になると，PSE が増加する傾向が見られた (図 3.6a)。対照条件で得られた PSE (標準時間が 80-320 ms のもの) を用いて，繰り返しのある 2 要因 (区切音の組み合わせ × 標準時間の長さ) の分散分析を行ったところ，区切音の組み合わせの主効果は有意であった [$F$ (2, 14) = 14.110, $p < .001$]。なお，標準時間の長さの主効果にも有意差が認められたが，標準時間が長くなると PSE も長くなるため，標準時間の長さの主効果が有意になるのは当然のことである。よって，以後は標準時間の長さの主効果についての結果は省略する (標準時間の長さの主効果は，常に有意であった ($p < .05$))。区切音の組み合わせと標準時間の長さの交互作用には有意差はなかった [$F$ (18, 126) = .996, $p = .469$]。ダネットの多重比較を行い，区切音の組み合わせが 20-20 (ms) の PSE と，それ以外の区切音の組み合わせ (60-20 および 20-60) の PSE とを比較したところ，20-20 (ms) と 20-60 (ms) の差は有意であったが ($p < .001$)，20-20 (ms) と 60-20 (ms) には有意差は認められなかった ($p > .05$)。

実験条件においては，第 1 区切音が長くなると，T1 の PSE が増加した。この傾向は，全体の長さが 240 ms で，T1 が T2 より長い条件において特にはっきりとみられた (図 3.7a)。第 2 区切音が長くなると，T1 の PSE が増加した (図 3.8a)。また，T1 と T2 の長さが/160/320/ の条件においては，第 2 区切音が長くなると，T2 の PSE が増加した (図 3.8b)。第 3 区切音が長くなると，T2 の PSE が増加する傾向がみられた (図 3.9b)。

実験条件で得られた PSE を用いて，繰り返しのある 2 要因 (区切音の組み合わせ × 標準時間の長さ) の分散分析を行った。2 種類の全体の長さ (240, 480 ms) ごとに，2 種類の課題 (T1 判断，T2 判断) を行ったため，全部で 4 つの分散分析を行った。全体の長さが 240 ms のときの T1 の PSE を用いて分析したところ，区切音の組み合わせの主効果は有意であった [$F$ (3, 21) = 20.120, $p < .001$]。区切音の組み合わせと標準時間の長さとの交互作用も有意であった [$F$ (12, 84) = 1.952, $p < .05$]。この交互作用は，区切音の組み合わせの効果が，標準時間の長さによって異なっていたことを示している。ダネットの多重比較を行い，区切音の組み合わせが 20-20-20 (ms) の PSE と，それ以外の区切音の組み合わせ (60-20-20, 20-60-20, および 20-20-60) の PSE とを比較したところ，20-20-20 (ms) と 60-20-20 (ms) の差が有意であった ($p < .001$)。全体の長さが 480 ms のときの T1 の PSE を用いて分析した結果においても，区切音の組み合わせの主効果は有意であり [$F$ (3, 21) = 4.734, $p < .05$]，ダネットの多重比較の結果，20-20-20 (ms) と 60-20-20 (ms) の差および 20-20-20 (ms) と 20-60-20 (ms) 差が有意であることが示された (どちらも $p < .05$)。全体の長さが 240 ms のときの T2 の PSE を用いて分析した結果では，区切音の組み合わせの主効果は有意であり [$F$ (3, 21) = 5.657, $p < .01$]，ダネットの多重比較の結果，20-20-20 (ms) と 20-20-60 (ms) の差が有意であることが示された ($p < .05$)。全体の長さが 480 ms のときの T2 の PSE を用いて分析した結果に

おいても，区切音の組み合わせの主効果は有意であったが [$F$ (3, 21) = 4.016, $p < .05$]，ダネットの多重比較の結果ではどの区切音の組み合わせでも有意差は認められなかった ($p > .05$)。分散分析とダネットの多重比較の結果を大雑把にまとめると，第 2 区切音の持続時間が T1 の知覚に影響し，第 3 区切音の持続時間が T2 の知覚に影響したことがわかった。この結果は，第 2 章で単独の時間間隔を用いて得られた結果と一致していた。つまり，どちらの場合も，時間間隔の終わりを示す区切音が長くなると，その時間間隔の主観的な長さも長くなった。このことは，単独の時間間隔において認められた音の持続時間の効果は，時間間隔が隣接するパターンにおいても同様に見られることを示している。一方，単独の時間間隔を用いたときの結果からは予想されなかった効果も見られた。すなわち，T1 の始まりを示す区切音の持続時間が長くなると，T1 の主観的な長さも長くなった。時間間隔の始まりを示す区切音の持続時間が長くなると時間間隔の主観的な長さが長くなるという傾向は，対照条件で時間間隔が単独で示されたときは現れておらず (第 2 章の実験 1 でも第 1 区切音の効果は示されたが，そのときの PSE の増加量は本実験の T1 の PSE の増加量よりも小さかった (図 2.3a と図 3.7 を比較)) 時間間隔の始まりを示す区切音のこのような影響は，時間間隔が隣接するパターンに特有のものであると考えられる。

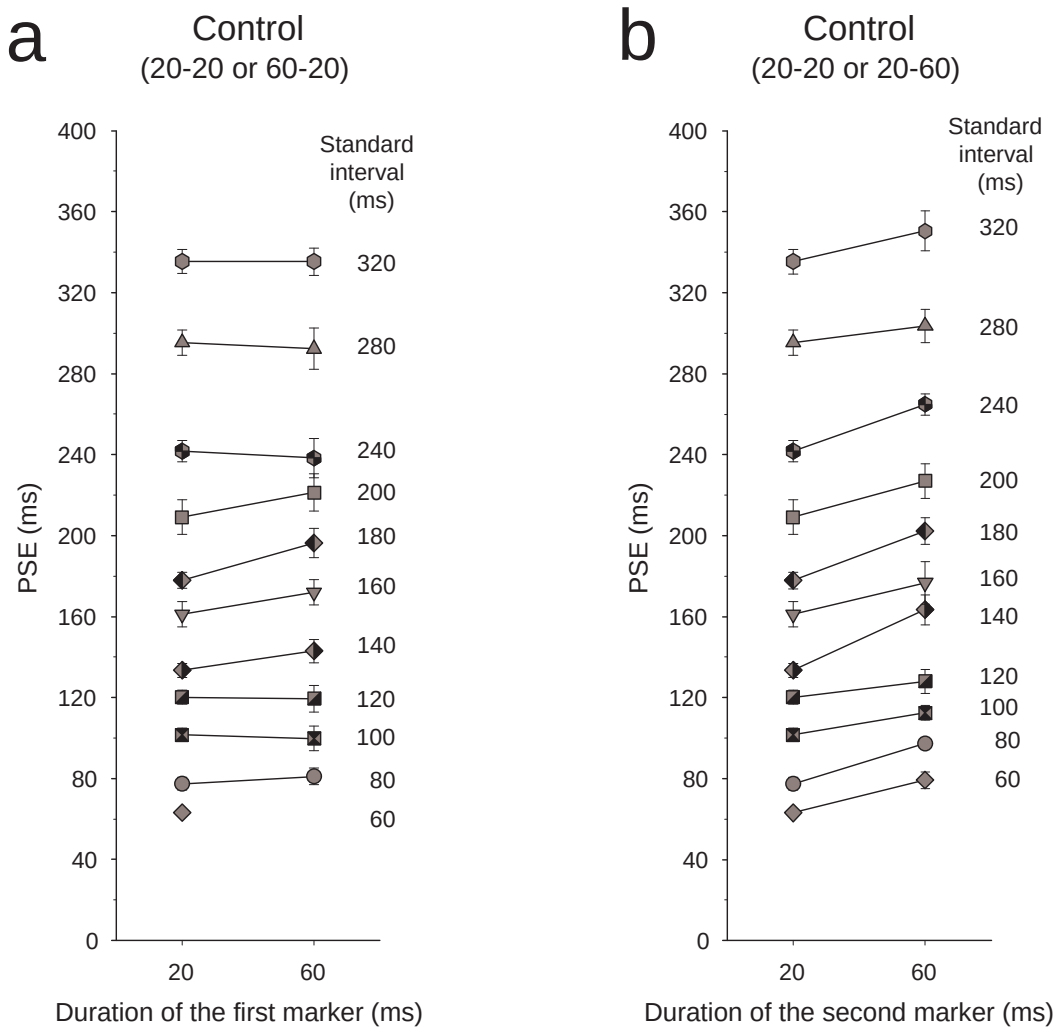


Fig. 3.6　実験 5 の対照条件で得られた PSE の平均値。a は第 1 区切音の持続時間の影響を示し，b は 第 2 区切音の持続時間の影響を示す。区切音の組み合わせが 20-20 ms の条件の PSE は，a と b で共通している。誤差棒は標準誤差を表す。

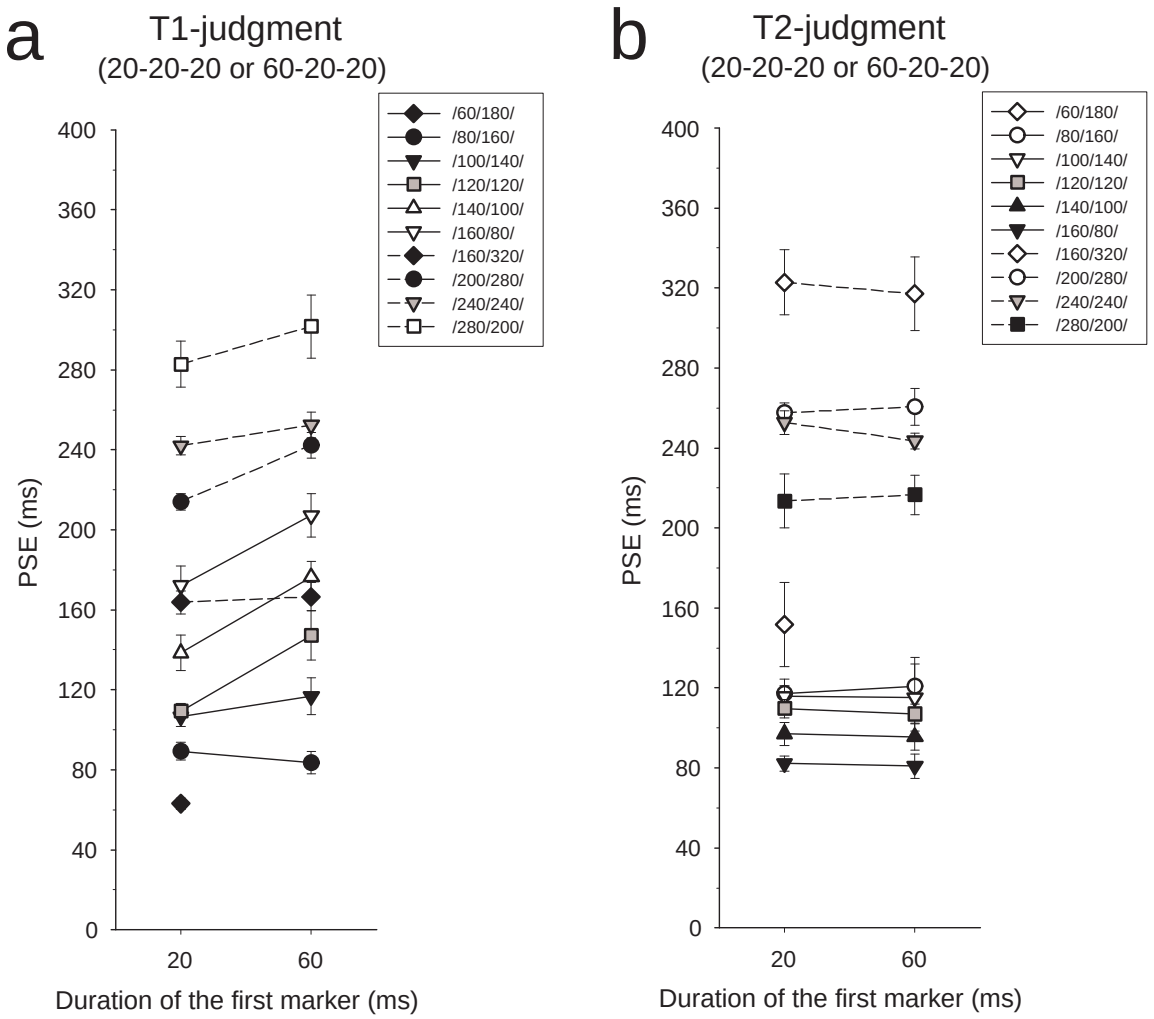


Fig. 3.7　実験 5 で第 1 区切音の持続時間が異なるパターンについて得られた PSE の平均値。a は T1 判断課題において得られた PSE を，b は T2 判断課題において得られた PSE を示す。区切音の組み合わせが 20-20-20 ms の条件の PSE は，a と b で共通している。黒いシンボルは，判断された時間間隔が隣接する時間間隔より短いことを，灰色のシンボルは判断された時間間隔と隣接する時間間隔が同じ長さであることを，白いシンボルは判断された時間間隔が隣接する時間間隔よりも長いことを，それぞれ意味する。また，実線は全体の長さが 240 ms であることを，破線は全体の長さが 480 ms であることを，それぞれ示す。誤差棒は標準誤差を表す。

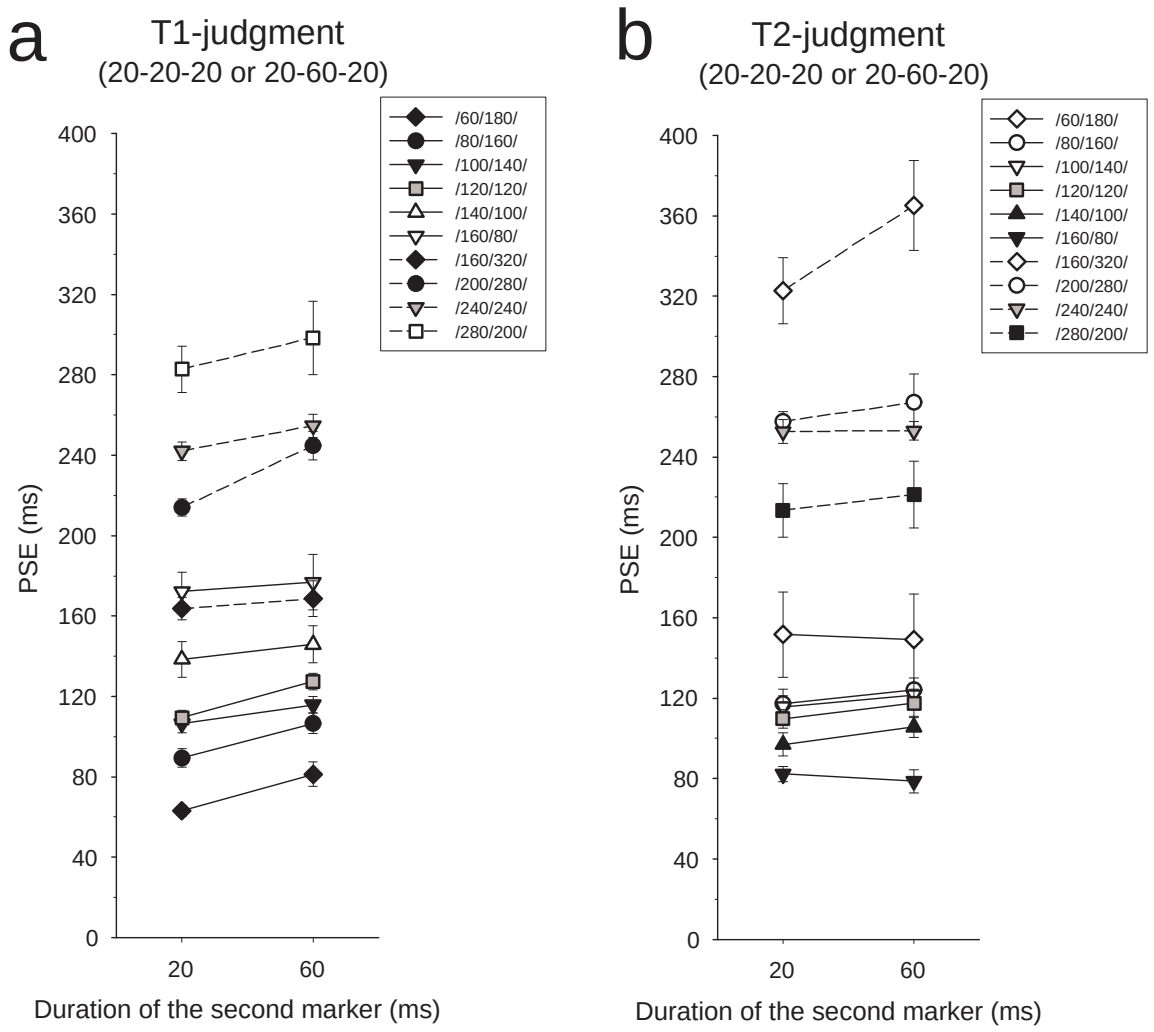


Fig. 3.8　実験 5 で第 2 区切音の持続時間が異なるパターンについて得られた PSE の平均値。a は T1 判断課題において得られた PSE を，b は T2 判断課題において得られた PSE を示す。区切音の組み合わせが 20-20-20 ms の条件の PSE は，a と b で共通している。黒いシンボルは，判断された時間間隔が隣接する時間間隔より短いことを，灰色のシンボルは判断された時間間隔と隣接する時間間隔が同じ長さであることを，白いシンボルは判断された時間間隔が隣接する時間間隔よりも長いことを，それぞれ意味する。また，実線は全体の長さが 240 ms であることを，破線は全体の長さが 480 ms であることを，それぞれ示す。誤差棒は標準誤差を表す。

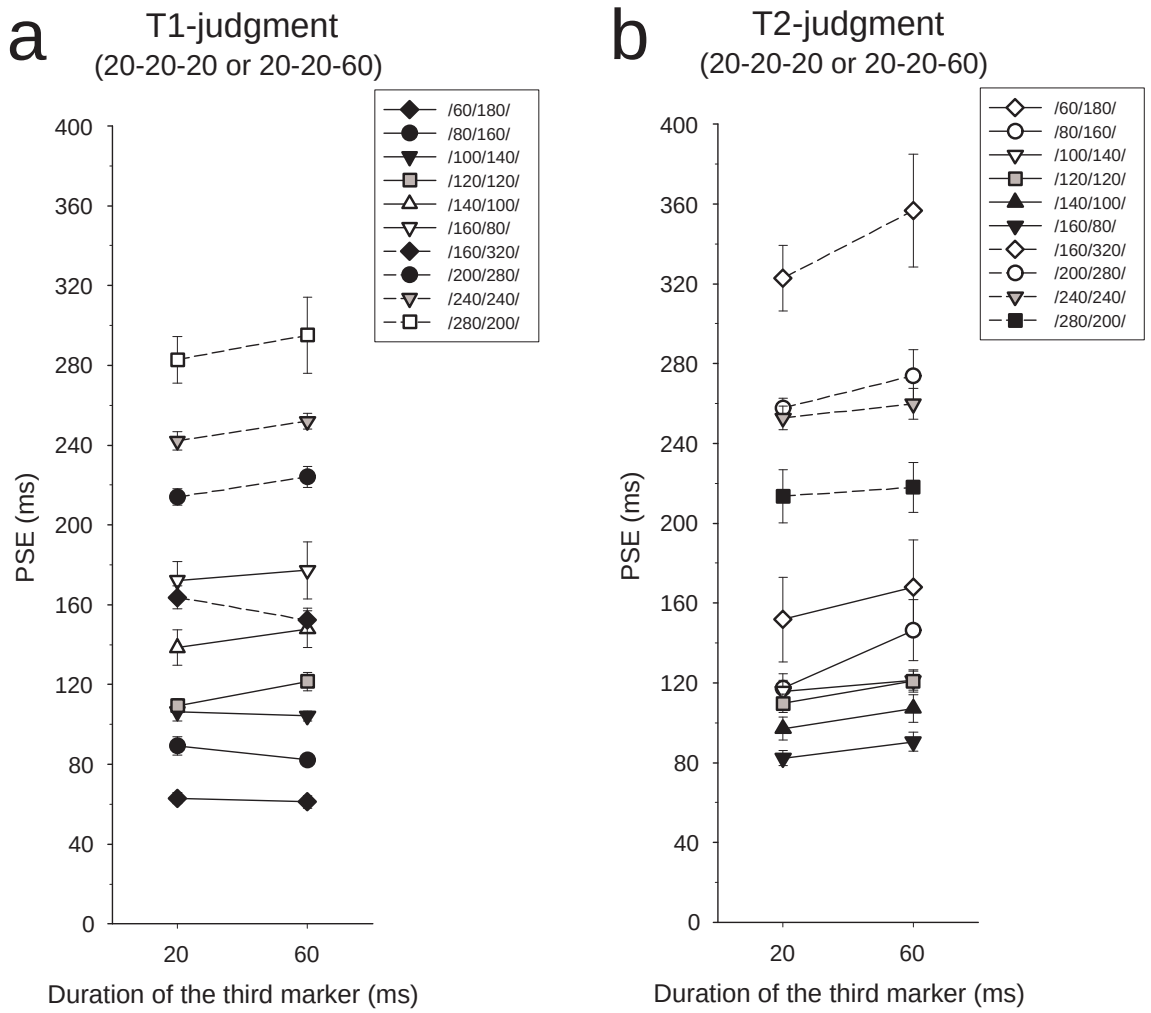


Fig. 3.9　実験 5 で第 3 区切音の持続時間が異なるパターンについて得られた PSE の平均値。a は T1 判断課題において得られた PSE を，b は T2 判断課題において得られた PSE を示す。区切音の組み合わせが 20-20-20 ms の条件の PSE は，a と b で共通している。黒いシンボルは，判断された時間間隔が隣接する時間間隔より短いことを，灰色のシンボルは判断された時間間隔と隣接する時間間隔が同じ長さであることを，白いシンボルは判断された時間間隔が隣接する時間間隔よりも長いことを，それぞれ意味する。また，実線は全体の長さが 240 ms であることを，破線は全体の長さが 480 ms であることを，それぞれ示す。誤差棒は標準誤差を表す。

それぞれの区切音の組み合わせによって，T1 と T2 の同化の生じ方にどのような違いがあったかを調べるために，図 3.6-図 3.9 で示したものと同じデータを，全体の長さと区切音の組み合わせごとに分け，T1 と T2 および対照条件の PSE をまとめて示したグラフを図 3.10，図 3.11 に示す。また，実験 4 で得られた“ $T1 = T2$ ”の範囲も，図中に垂直な破線で示した。

この“ $T1 = T2$ ”の範囲内では，T1 と T2 の PSE は，対照条件の PSE と比べ，お互いに近づいていた。つまり，T1 と T2 の同化が生じた。一方，全体の長さが 240 ms で，区切音の組み合わせが 60-20-20 (ms) の条件において，T1 が“ $T1 = T2$ ”の範囲よりも長くなると，T1 と T2 の PSE は，対照条件の PSE と比べ，お互いから遠ざかった (図 3.10b)。これは対比と考えることができる (Nakajima et al., 2004)。

このように，実験 4 と実験 5 では，実験方法は異なっていたが，T1 と T2 に同化が生じた範囲はおおまかには対応していた。よりリズム知覚研究に近い課題を用いた実験 4 の結果と，典型的な時間知覚研究の課題を用いた実験 5 の結果とがある程度対応していたということは，本論文の第 2 章 (実験 1-3) および実験 5 で行ったようなひとつひとつの時間間隔の主観的な長さに関する測定の結果が，より日常的なリズム知覚とも結びつけられる可能性があることを示していると考えられる。また，時間パターンによっては現れた，第 1 区切音が長くなると T1 の主観的な長さも長くなるという傾向は，T1 と T2 に生じた対比と関係していると考えられた。対比が生じるためには，時間間隔が 2 つ以上は必要となるので，対照条件や第 2 章で，単独の時間間隔を用いて実験を行ったときは，第 1 区切音の効果がはっきりしなかったことも納得できる。

T1 と T2 の過大評価量 (T1/T2 の PSE− 対照条件の PSE) をまとめたグラフを図 3.12，図 3.13 に示す。T2 の過大評価量のうち，T2 が T1 よりも長い時間パターンにおいて，過大評価量が負の値になっている部分が時間縮小錯覚を表す (図 3.12b，図 3.13b)。区切音の持続時間が時間縮小錯覚に及ぼす影響について調べた先行研究において，区切音が長くなると時間縮小錯覚の錯覚量が小さくなることが示されてきた (Yamashita & Nakajima, 1999; Fujishima & Nakajima, 2006)。また，錯覚量が最大になる時間パターンが，区切音の持続時間が 20 ms のときは T2−T1=80 ms であったのに対し，区切音が 40 ms 以上になると，T2−T1=60 ms になるといわれていた (Fujishima & Nakajima, 2006)。本実験において，T2 の PSE と，対応する対照条件の PSE の差 (すなわち，時間縮小錯覚の錯覚量) をみると，全体の長さが 240 ms のとき，区切音の組み合わせが 20-20-20，60-20-20，20-60-20 (ms) では，錯覚量が最大になる時間パターンが/80/160/ (T1−T2=-80 ms) であったのに対し (図 3.10a, b, c，図 3.12b)，区切音の組み合わせが 20-20-60 (ms) では，時間パターンが/100/140/ (T1−T2=-60 ms) のときに錯覚量が最大であった (図 3.10d，図 3.12b)。この結果は，区切音が長くなると錯覚量が最大になる時間パターンが T2−T1=80 ms から T2−T1=60 ms へずれたという点において，Fujishima and Nakajima (2006) の結果と一致していた。また，Fujishima and Nakajima (2006) は 3 つの区切音の持続時間を全て同時に変化させていたのに対し，本実験では第 3 区切音のみの持続時間を変化させただけで錯覚量が最大になる時間パターンが変化することが示された。

このような第 3 区切音の持続時間の影響については，第 3 区切音が長くなったことによって T2 が主観的に長くなり，T1 と T2 の差が大きくなってしまったと考えることによって説明できる可能性がある。例えば，区切音が短いときは錯覚量が最大になるといわれている T2−T1=80 ms の条件にあたる/80/160/という時間パターン (Nakajima et al., 2004) では

(図 3.10a)，第 3 区切音が長くなると T2 が主観的に長くなり，主観的には/80/180/に近づいたのではないかと考えることができる (図 3.10d)。その場合，T1 と T2 の主観的な差は 100 ms となり，時間縮小錯覚が最も生じやすい条件よりも T1 と T2 の差が大きくなりすぎてしまう。この説明に従うと，隣接する時間間隔の長さの物理的な差ではなく，主観的な差によって時間縮小錯覚の生じ方が決まるということになる。また，同様の説明が，区切音の組み合わせが 20-60-20 (ms) のときの/60/180/パターンについても可能となるはずである (図 3.10c)。つまり，20-60-20 (ms) という区切音の組み合わせの場合，第 2 区切音が長くなったことによって T1 の主観的な長さが長くなり，T1 と T2 の主観的な差が小さくなったため，区切音が短い場合であれば時間縮小錯覚が最大には生じないはずであった/60/180/ (T1−T2=-120 ms) という時間パターンにおいても，錯覚量がほぼ最大となったと考えることができる (図 3.10a，図 3.12b)。このように，隣接する二つの時間間隔の物理的な長さの差ではなく，主観的な長さの差によって時間縮小錯覚の生じ方が決まるとする考え方は，三つの隣接する時間間隔における時間縮小錯覚の生じ方を調べた Sasaki et al. (2002) の実験結果とも一致している。

実験 5 の結果をまとめると，時間間隔の終わりを示す区切音が長くなるとその時間間隔の主観的な長さが長くなるという傾向，つまり，第 2 区切音が長いとき，第 2 区切音が短いときと比べて T1 の主観的な長さが長くなり，第 3 区切音が長いとき，第 3 区切音が短いときと比べ，T2 の主観的な長さが長くなる傾向がみられた。この現象は，時間間隔が単独で呈示された対照条件においても見られた。また，条件によっては，時間間隔の始まりを示す区切音の効果もみられた。具体的には，T1 の始まりを示す第 1 区切音が長くなると，T1 の主観的な長さが長くなった。この第 1 区切音の持続時間の効果は，全体の長さが短く，T1 が T2 よりも長い時間パターンにおいてみられ，T1 と T2 の対比を促進する効果があると考えられる。区切音の持続時間は時間縮小錯覚の生じ方にも影響した。このように，区切音の持続時間は，隣接する時間間隔における時間的同化および対比の生じ方に影響することが示された。実験 4 で得られた“ $T1 = T2$ ”の知覚が生じる時間パターンの範囲と，実験 5 で得られた T1 と T2 の PSE がお互いに近付く時間パターンの範囲は，おおよそ対応していた。

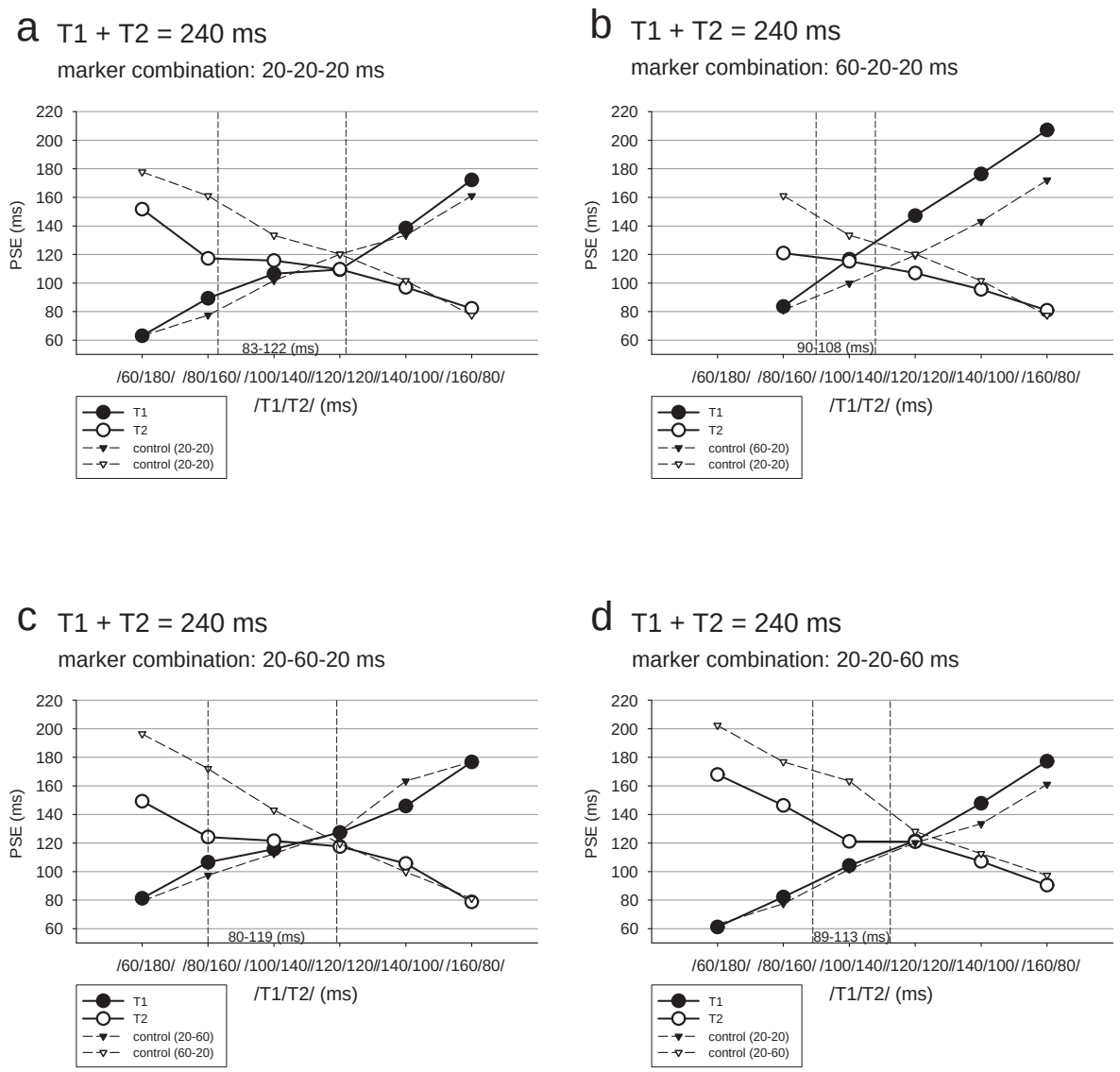


Fig. 3.10　実験 5 で得られた，全体の長さが 240 ms の条件における PSE の平均値。黒丸は T1 の PSE を，白丸は T2 の PSE を示す。それぞれに対応する対照条件の PSE は黒三角と白三角で示す。白丸と白三角の差が，時間縮小錯覚の量である。垂直な破線は，実験 4 で得られた“ $T1 = T2$ ” (1:1 カテゴリー) の範囲を示す。

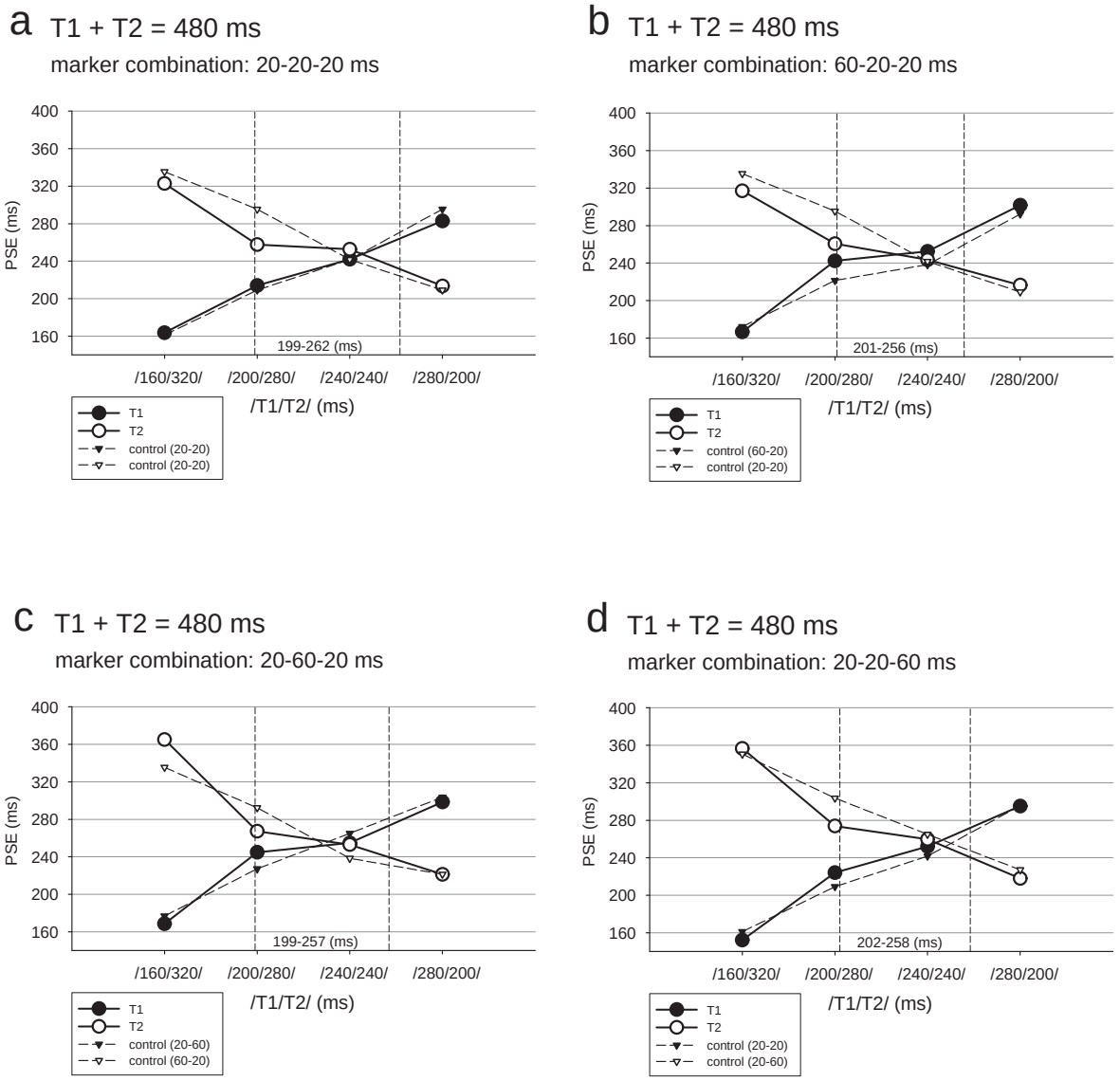


Fig. 3.11　実験 5 で得られた，全体の長さが 480 ms の条件における PSE の平均値。黒丸は T1 の PSE を，白丸は T2 の PSE を示す。それぞれに対応する対照条件の PSE は黒三角と白三角で示す。白丸と白三角の差が，時間縮小錯覚の量である。垂直な破線は，実験 4 で得られた“ $T1 = T2$ ” (1:1 カテゴリー) の範囲を示す。

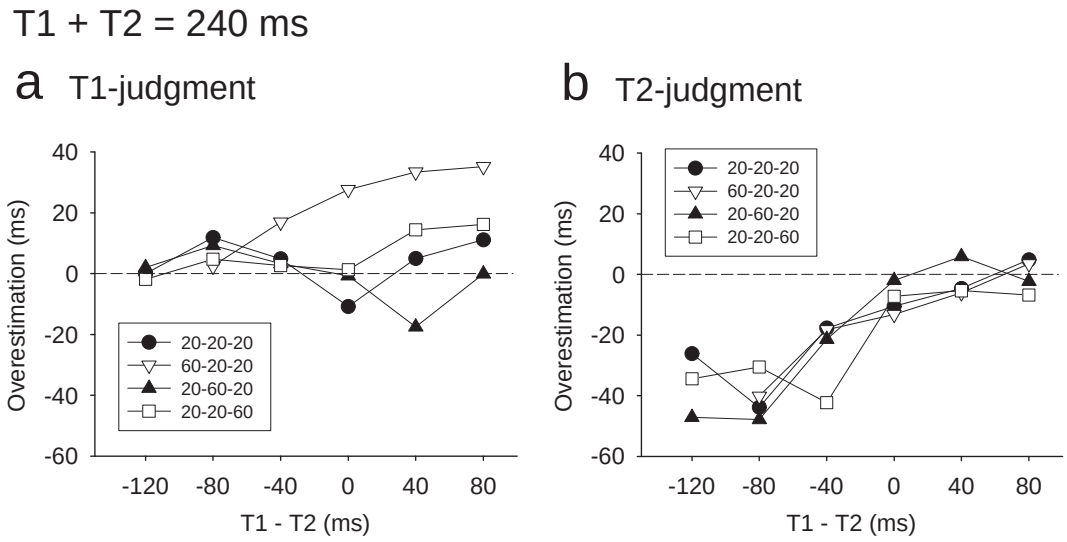


Fig. 3.12　実験 5 で得られた，全体の長さが 240 ms の条件での過大評価量の平均値。a は T1 の過大評価量 (T1 の PSE− 対照条件の PSE) を，b は T2 の過大評価量 (T2 の PSE− 対照条件の PSE) を，それぞれ示す。T2 の過大評価量が負の値になっているのは，時間縮小錯覚が生じている部分である。黒丸は区切音の組み合わせが 20-20-20 ms の条件の PSE，白逆三角は区切音の組み合わせが 60-20-20 ms の条件の PSE，黒三角は区切音の組み合わせが 20-60-20 ms の条件の PSE，白四角は区切音の組み合わせが 20-20-60 ms の条件の PSE をそれぞれ示す。

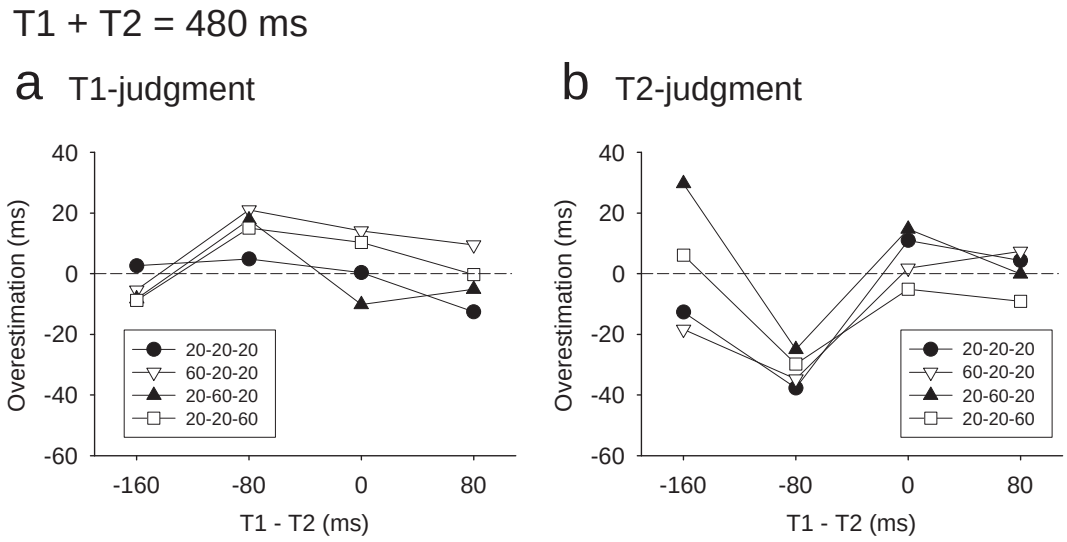


Fig. 3.13　実験 5 で得られた，全体の長さが 480 ms の条件での過大評価量の平均値。a は T1 の過大評価量 (T1 の PSE− 対照条件の PSE) を，b は T2 の過大評価量 (T2 の PSE− 対照条件の PSE) を，それぞれ示す。T2 の過大評価量が負の値になっているのは，時間縮小錯覚が生じている部分である。黒丸は区切音の組み合わせが 20-20-20 ms の条件の PSE，白逆三角は区切音の組み合わせが 60-20-20 ms の条件の PSE，黒三角は区切音の組み合わせが 20-60-20 ms の条件の PSE，白四角は区切音の組み合わせが 20-20-60 ms の条件の PSE をそれぞれ示す。

## 3.5　まとめ

本章では，第 2 章で明らかとなった音の持続時間の効果が，リズム知覚により近い時間パターン，すなわち二つの隣接する時間間隔からなるパターンにおいても見られるかどうかを調べた。その結果，以下のことが明らかとなった。

時間間隔が単独で呈示されたときも，隣接する時間間隔とともに呈示されたときも，時間間隔の終わりを示す区切音の持続時間が長くなると，その時間間隔の主観的な長さが長くなる傾向が示された。この結果は第 2 章の結果とも一致していた。一方で，最初の時間間隔の始まりを示す第 1 区切音が長くなると，最初の時間間隔の主観的な長さが長くなる傾向が，時間間隔が隣接するパターンのみにおいてみられた。この影響は，隣接する時間間隔に生じる対比と関係していると考えられた。また，隣接する時間間隔の長さを比較するというリズム知覚研究に近い課題を用いた実験 4 と，それぞれの時間間隔の主観的な長さを求めるという典型的な時間知覚研究の課題を用いた実験 5 の結果がおおよそ対応していることが確認できた。

本章で行った実験により，第 2 章で単独の時間間隔を用いることによって明らかにされた音の持続時間の効果が，時間間隔が隣接するパターンにおいても見られることが確認できた。これにより，時間知覚研究において発見されていた音の持続時間の効果をリズム知覚とさらに結び付けることができた。本研究が，リズム知覚に関する他の研究と結び付けることができるかどうかについて，第 5 章で考察を行う。