

音系列における時間間隔の知覚¹⁾

産業技術総合研究所 下迫 晴加²⁾

筑波大学大学院人間総合科学研究科・心理学系 菊地 正

The perception of short temporal intervals in auditory sequences

Haruka Shimosako (*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology*)

Tadashi Kikuchi (*Institute of Psychology, Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8572, Japan*)

This study investigates how we compare temporal intervals in auditory sequences. In Experiment 1, participants heard an isochronic sequence and judged whether the last interval was equal, long or short. Performance was more accurate as the number of tones in the sequence increased. In Experiment 2, participants heard three types of sequences: lengthening successive intervals, shortening successive intervals and alternating long and short intervals. The task was to detect an interval change. Participants detected the change when the deviation from the first interval was 3-9%, but there was quite a large shift from the periodic beats established by the initial intervals. The results suggest that an interval-based timer provides greater precision than beat-based timing. In Experiment 3, the participants heard five types of eight tone sequences and subsequently continued to tap at the same pace. Inter-tap intervals were related to the average of the seven heard intervals. There was no clear evidence for beat-based timing.

Key words: intervals, beat, auditory sequences

短音で区切られた短い時間間隔（2000msの範囲まで）の弁別閾は6-10%程度である（Abel, 1971; Getty, 1975）が、比較すべき間隔の前に等間隔音系列が挿入されると、間隔に対する感度が高くなり、弁別閾が小さくなる（Halpern & Darwin, 1982; Schulze, 1989）。等間隔音系列の提示により、繰り返し貯蔵された長さの心的表象の平均化が行われ、比較のための基準の精度が向上するという説（Drake & Botte, 1993）、内的に発生した周期的なタイマー（ビート）を基準として、比較すべき間隔

の開始時刻を正確に予測できるとする説（Jones & Boltz, 1989）が提案されている。前者は間隔モデル（interval-based model）、後者はビートモデル（beat-based model）と呼ばれ、それぞれ砂時計とパルス発振器にたとえられる（Ivry & Hazeltine, 1995; McAulley & Kidd, 1998; Pashler, 2001）。

間隔モデルでは比較刺激の開始時刻にかかわらずいつでも間隔の比較が可能である。ビートモデルは固定した周期ではたらくため、周期と同期して提示される間隔の比較に有効であるが、周期と同期しない開始時刻での間隔の比較は難しいと仮定されている。標準刺激から比較刺激提示までの長さ（standard-test interval: STI）を変数とした実験では、STIの長さにかかわらず弁別成績が変わらないことから、間隔モデルが支持されている（Pashler, 2001）。比較刺激提示までの周期が一定であっても

1) 本研究の一部は日本心理学会第65回大会、第66回大会において発表された。

2) 本実験の実施にあたり、多大な協力を得ました石田時敬氏、実験に参加して下さった学生の皆さんに感謝致します。

ビートを利用した成績の利得がみられないことから、ビートモデルは棄却されている。ビートモデルを支持する研究もあるが (Schulze, 1978), 同様の手続きで追試を行った研究では間隔モデルが支持されている (Keele, Nicoletti, Ivry, & Pokorny, 1989)。

本研究では、音系列における時間間隔の比較が行われる場合にどのような内的基準が形成されるかを調べるため、3つの実験を行う。実験1では、間隔の比較のための基準を明らかにする上で必要な基礎的データを得ることを目的とする。2つの間隔を比較するときの弁別閾の大きさと、比較刺激の前に提示される等間隔音数と弁別閾の関係について調べる。実験2ではどのような比較基準が形成されるかを検討する。連続する時間間隔が、500, 505, 510, 515msと閾値以下で少しずつ変化するような音系列を提示して、時間間隔の変化検出を求める実験を行う。間隔を基準とするなら間隔の長さのずれが一定以上になった時に、ビートを基準とするなら内的タイマーによる予測からのずれが一定以上になった時に変化が検出されると予想される。実験3では聴取した音系列に続いてタッピングさせ、タッピング間隔と音系列パタンの関係性から、音系列のどの部分が基準の形成に重要であるかを調べる。

実験 1

間隔の比較基準を明らかにする上で必要な基礎的データを得ることを目的とする。2つの間隔を比較するときの弁別閾の大きさと、比較刺激の前に提示される等間隔音数と弁別閾の関係について調べ、時間間隔に対する感度をもっともよくなる等間隔音の数を明らかにする。

方法

実験参加者 健聴者10名が実験に参加した。

装置 刺激はシーケンサーソフト「Vision」により、音源 (Roland SC88Pro) の純音を用いて、ヘッドホン (Roland RH-120) を通して両耳に提示された。参加者の反応はキーボードのキーを押すことにより、パーソナルコンピュータ (Power Macintosh G4) に記録された。

刺激 50msの持続時間、1026Hz (C音) の一定の強さの純音系列を作成した。音数は3, 5, 7, 9, 11音の5種類であった。interonset interval (IOI) は基本的に500msとし、最後のIOIのみが430ms (-70ms) から570ms (+70ms) まで10ms刻みで変化する15種類を準備した。5種類の音

数と15種類のIOIを組み合わせた75種類の音系列を作成した。

刺激のヘッドホンからの出力を騒音計 (NA-60, リオン社製) により測定した。ヘッドホンを防音防振用の硬質スポンジで作成した治具により固定し、実際の装着状態に近い条件とした。騒音計からの音声出力をPC上でWAVファイルに変換して刺激の物理特性を確認したところ、時間間隔の誤差は1ms以内であった。

手続き 参加者は刺激音を聞きやすいレベルに調節し (60-65dB), 提示された音系列の最後の時間間隔が、それまでの間隔と比較して「長い」か「短い」か「同じ」かの判断を行った。音を数えること、手足を動かすことは禁じられた。同じ音数の音系列がブロックで提示され、5種類の音数の提示順序は参加者によって異なるように設定された。1ブロック内で最後のIOIのみが異なる15種類の音系列がランダムな順序で提示された。各音数について2ブロックの練習の後、10ブロックが実施された。参加者は本試行として750試行の判断を行った。

結果と考察

15種類の最後のIOIに対する反応は「長い」「同じ」「短い」の3種類であったため、「同じ」と答えた割合を2等分して「長い」「短い」と答えた割合にそれぞれ加算する等分補正を行った。等分補正された割合をz得点に変換し、最小2乗法を用いて各参加者のPSEと上閾下閾を5種類の音数ごとに求め、弁別閾を算出した。参加者10人のPSE, 上閾, 下閾, 弁別閾の平均値をTable 1に示す。

実験の結果、3音条件、つまり2間隔を比較した時の弁別閾は30msであり、500msの基準に対して6%であった。音数が増えるに従って弁別閾が小さくなる傾向も示された。5種類の音数について1要因の分散分析を行った結果、有意傾向 ($F(4, 36)=2.15, p<.10$) が認められた。フィッシャーのLSD検定を行ったところ、3音条件と比較して9音、11音条件の弁別閾が小さいことが示された ($p<.05$)。

Table 1 各音系列における弁別成績 (ms)

音数	PSE	下閾	上閾	弁別閾
3音	494.9	464.9	524.9	30.0
5音	498.0	470.8	525.2	27.2
7音	497.0	470.2	523.7	26.7
9音	499.6	473.7	525.4	25.9
11音	496.6	470.7	522.4	25.9

本実験における2間隔の弁別閾は6%であり、弁別閾が6-10%と報告する先行研究 (Abel, 1971; Getty, 1975) と一致する結果が得られた。そして等間隔音系列を挿入すると時間知覚の感度が増す傾向にあること (Halpern & Darwin, 1982; Schulze, 1989) が確認された。3音条件では基準間隔が1つのみであるため時間知覚が不安定で基準と同じ時間間隔と知覚される不定帯が広いが、等間隔音が増えると基準が多く提示されるために知覚が安定して弁別閾が小さくなると考えられる。先行提示される等間隔音の効果は、9音、11音条件のとき、つまり等間隔音の数が8音、10音のときに大きくなることが示された。

また、PSEは5種類全ての音数条件において500msより短く、最後のIOIが基準より長い場合は短い場合と比べて弁別能がよくなることが示された。2音、3音、4音系列の最後の間隔に対するPSEが、物理的な時間よりも同程度に短いことも示されており (ten Hoopen, Hartsuiker, Sasaki, Nakajima, Tanaka, & Tsumura, 1995)、本実験においても同様の傾向が示されたと考えられる。

実験 2

実験1では2間隔の弁別閾が30msであり、8音程度の等間隔音が挿入されると時間間隔に対する感度が増す傾向にあることが示された。

実験2では連続する時間間隔が閾値以下で徐々に長くなる、短くなる、長短交互に変化する3タイプの音系列を提示し、時間間隔の変化が検出される比較基準について調べる。徐々に長くなる、短くなる音系列では、隣接する間隔同士を比較しても差は閾値以下であるため、変化検出は不可能である。最初の間隔を基準としても、基準からのずれがわずかずつしか大きくならないため、変化検出はかなり困難であると予想される。しかし最初の間隔を固定周期としたビートが形成されると仮定すると、徐々に間隔が長くなる、短くなる音系列では周期からのずれが加算的に大きくなるため、交互系列よりも検出成績がよいと予想される。また等間隔音系列が変化検出の基準精度を向上させるのであれば、3タイプの音系列の違いにかかわらず、間隔の変化前に等間隔音系列が挿入される場合はされない場合よりも検出成績がよいと予想される。実験1の結果から、先行する等間隔音が8音の場合に効果が明確にあらわれると考えられる。

方法

実験参加者 健聴者23名が実験に参加した。

刺激 50msの持続時間、1026Hzの一定の強さの純音系列を作成した。最初のIOIは全て500msとした。2つ目以降のIOIは、変化量、変化のタイプ、等間隔の有無の組合せにより変化した。連続するIOIの変化量は、刺激に多様性をもたせるために3ms, 5ms, 7msの3種類を設けた。変化のタイプは変化量5msを例とすると、IOIが500, 495, 490, 485msと少しずつ短くなる短縮系列、500, 505, 510, 515msと長くなる遅延系列、長短の変化が500, 505, 495, 510, 490msと1つおきに交代する交互系列の3種類が作成された。等間隔の有無に関しては、実験1の結果から、間隔の変化開始前に8音の500ms等間隔音系列が挿入された。変化量3種類、変化のタイプ3種類、等間隔の有無2種類の組合せから、18種類の音系列が準備された。刺激の物理的特性は実験1と同様の手法により、誤差が1ms以内であることを確認した。

装置 実験1と同様であった。

手続き 参加者は刺激音を聞きやすいレベルに調節し (60-65dB)、提示された音系列の時間間隔の変化に気づいた時に、キーを押すことが求められた。音を数えること、手足を動かすことは禁じられた。キー押し反応により音系列の提示は中止され、次の音系列は別のキー押しにより、参加者の自発的なタイミングで提示された。1ブロック内で18種類の音系列がランダムな順序で提示され、1ブロックの練習後、10ブロックの本試行が行われた。ブロック間には適宜休憩が設けられた。

結果と考察

刺激の第1音提示から参加者のキー押し反応までの時間から単純反応時間として200ms減じた時間を算出し、その直前に提示された音 (間隔) に対して反応が行われたとみなした。等間隔有系列90試行中、間隔の変化開始前にキー押し反応が15試行以上みられた5名のデータは全て省いた。等間隔系列におけるキー押し反応が7試行以下であった参加者18名のデータを分析対象とした。

変化のタイプによる検出成績の違い 変化検出時の間隔と最初の間隔との差の平均は、全体として約17-44ms (3-9%) の範囲にあった (Figure 1)。分散分析の結果、変化のタイプ ($F(2, 34)=13.59, p < .01$)、変化量 ($F(2, 34)=126.00, p < .01$)、等間隔の有無 ($F(1, 17)=86.06, p < .01$) の主効果、および変化のタイプ×変化量 ($F(4, 68)=2.69, p < .05$)、変化のタイプ×等間隔

の有無 ($F(2, 34)=9.13, p < .01$), 変化量 × 等間隔の有無 ($F(2, 34)=31.01, p < .01$) の交互作用が有意であった。フィッシャーのLSD検定の結果, 反応時と最初の間隔の差は, 交互系列と比較して短縮・遅延系列の場合に大きく, 等間隔有系列よりも無系列の場合に大きかった ($p < .05$)。変化量は大きくなるほど, 反応時と最初の間隔の差が大きくなった ($p < .05$)。

変化のタイプに関して, 短縮・遅延系列が交互系列よりもよい検出成績になる傾向は示されなかった。もし音系列の最初の2音を聞くことで500msの内的ビートが形成されたと仮定すると, 短縮・遅延系列におけるビートからのずれは加算的に大きくなり, 交互系列よりもよい検出成績になるはずである。ずれが最小となるビートを基準にしたと仮定して, 遅延系列の場合は反応時の直前のビート, 短縮系列の場合は反応直後のビートからのずれの平均を求めたところ, 短縮・遅延系列の場合のずれは等間隔無系列でおおよそ140-185msの範囲, 有系列でも88-94msの範囲にあった (Table 2)。実験1の結

果, 弁別閾が30ms程度であったことを考えるとビートからのずれはかなり大きく, 内的ビートと外的刺激との比較から判断されたとは考えにくい。交互系列の場合は連続する2間隔の合計が1000msとなり1音おきにビートと同期していたため, ビートと同期する音に反応した場合はその前の音に対する反応とみなした。その結果, 交互系列の場合, ビートからのずれはおおよそ17-34msの範囲にあった。交互系列は遅延・短縮系列ほどビートからのずれが大きくないが, 18種類の音系列から交互系列の場合のみビートが基準にされたとも考えにくい。従って, ビートが基準となった可能性はきわめて低く, 最初の間隔を比較基準として判断が行われた可能性が高いといえる。

等間隔系列における基準の形成 等間隔の有無に関しては, 無系列よりも有系列の場合に検出成績が良くなる傾向が示された。これは, 最初の1つだけでなく複数の時間間隔が基準となったためと考えられる (Drake & Botte, 1993; Schulze, 1989)。等間隔音系列が変化検出の基準をより明確にしたといえるが, 音数が増える分だけ記憶すべき間隔も増えるため, 全ての間隔が正確に記憶されたというより, 音系列初期の複数の間隔が平均された可能性が高い。そこで音系列の最初の2個分から7個分まで6通りの平均を基準と仮定し, 短縮・遅延系列の等間隔無系列と有系列の基準からの時間差を比較した。交互系列は時間間隔をいくつ平均しても500ms近い値となるため分析から除外した。その結果, 平均間隔数が5個から6個の時に等間隔無系列と有系列の反応時の時間差がほぼ等しくなることが示された (Table 3)。比較基準として5-6個程度の間隔の平均が利用されたと考えられるが, 実験1の結果からは8音の等間隔音, つまり7個分の間隔を利用して間隔が最適に比較されると予想される。実験1では音数がブロックで固定され, 比較基準として利用できる間隔数が明確であった。実験2では連続する間隔が閾値以下で徐々に変化して, 変化が検出されるまで音が提示され続けた。実験2における課題の困難さと提示される間隔数の不明確さが, 基準として利用される間隔の数に何らかの影響を及ぼしたのではないかと考えられる。

参加者の判断の信頼性 各音系列の連続するIOIは閾値以下で徐々に変化するため, 時間間隔の変化検出は参加者にとってかなり困難であったと思われる。参加者の判断の信頼性を確認するため, 各音系列が判断されるまでの音数を比較した。もし適当に判断されていたとすると, 音系列の違いにかかわらず, 同じような音数で判断されたと予想される。

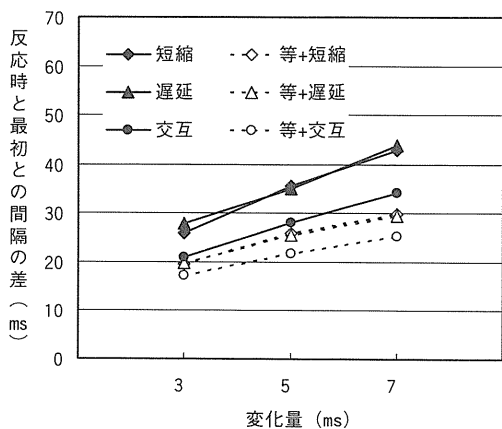


Figure 1 反応時と最初の間隔の差

Table 2 反応時とビートとの差 (ms)

等間隔	変化量	音系列		
		短縮	遅延	交互
有	3	93.5	88.4	17.1
	5	90.4	91.5	21.7
	7	89.2	94.1	25.3
無	3	161.7	141.5	21.0
	5	157.0	164.4	28.1
	7	185.2	173.6	34.1

各音系列について参加者が反応するまでの音数の平均値を求めたところ、短縮・遅延系列と比較して交互系列が、変化量に関しては差異が小さいほど、また等間隔無系列よりも有系列の場合に音数は多かった。分散分析の結果、変化のタイプ ($F(2, 34)=35.83, p < .01$)、変化量 ($F(2, 34)=116.15, p < .01$)、等間隔の有無 ($F(1, 17)=200.96, p < .01$) の主効果、および変化のタイプ×変化量 ($F(4, 68)=9.61, p < .01$) と変化のタイプ×等間隔の有無 ($F(2, 34)=3.48, p < .05$) の交互作用が有意であった。

分析の結果、音系列によって変化検出までの音数が異なることが示された。変化量が小さい場合は変化検出がより困難であるため、等間隔有系列では変化開始前に提示される音が多い分、音数が増えたと考えられる。交互系列の場合は500msからの差が短縮・遅延系列のように連続的でなく2間隔毎に増すため、変化検出が困難で音数が増えたと考えられる。変化検出までの音数と音系列の特徴との関係から、判断は信頼できるものと解釈できる。

実験 3

実験2から、時間間隔の変化検出には複数の間隔の平均が基準になることが示唆された。しかし全ての時間間隔が等しい重みで平均化されるのか、最初の数個の間隔が重要であるのか、最後の数個の間隔がより重要であるのかは明らかでない。そこでわずかに時間間隔が変化する音系列を提示した後に続けて同じようにタッピングさせ、タッピング間隔が提示された音系列のどの部分を基準としているかを調べる。

もし提示された音系列の最初の部分が基準となるなら、前半の時間間隔の構成が等しく、後半の間隔の構成が異なる音系列の間のタッピング間隔は等しくなると予想される。逆に音系列の最後の部分が基準となるなら、前半の構成にかかわらず、後半の時

間間隔の構成が等しい系列に対するタッピング間隔が等しくなると予想される。また提示された音系列全体を平均化して基準とするなら、時間間隔全体の構成が等しい系列のタッピング間隔は全て等しくなると予想される。

方法

実験参加者 健聴者8名が実験に参加した。

刺激 50msの持続時間、1026Hzの一定の強さの純音8音系列を作成した。基準となるIOIを500msとして5種類を準備した。全ての間隔が500msの等間隔音系列、前半4つの間隔は500msであるが、後半3つの間隔が5msずつ長くなる後半遅延系列(500-500-500-500-505-510-515)、短くなる後半短縮系列(500-500-500-500-495-490-485)、前半3つの間隔が5msずつ長くなり後半は500msで一定となる前半遅延系列(485-490-495-500-500-500-500)、前半が短くなり後半が一定となる前半短縮系列(515-510-505-500-500-500-500)を作成した。

装置 実験1・2と同様であったが、参加者の反応はシンセサイザー (Roland A-33) のキー押しによってパーソナルコンピュータ (Power Macintosh G4) にMIDIデータとして記録された。

手続き 参加者は刺激音を聞きやすいレベルに調節し、8音系列聴取後すぐに続けて同じ間隔となるように8回のタッピングが求められた。5種類の音系列毎に2回の練習が行われた後、各音系列がランダムに10回ずつ提示され、50回の本試行が行われた。参加者のタッピング終了から次の音系列の提示開始まで10秒程度設けられた。

結果と考察

各音系列の8タッピングの時間間隔の平均値をFigure 2に示す。1回目の間隔のみ、提示された音系列の最終音と1タップ目の時間間隔とした。1回目のタッピング間隔が最も長い。2回目以降のタッピング間隔は全体に500ms以下で、ばらつきが少な

Table 3 平均化モデルによる基準と短縮・遅延系列の反応時の間隔長の差 (ms)

パターン	変化量	平均間隔数						+等間隔
		2	3	4	5	6	7	
遅延	3	24.4	22.9	21.4	19.9	18.4	16.9	19.6
	5	33.1	30.6	28.1	25.6	23.1	20.6	25.8
	7	39.4	35.9	32.4	28.9	25.4	21.9	29.9
短縮	3	26.3	24.8	23.3	21.8	20.3	18.8	19.9
	5	32.5	30.0	27.5	25.0	22.5	20.0	25.6
	7	40.4	36.9	33.4	29.9	26.4	22.9	29.4

く安定している。1回目のタッピング間隔は、提示された最後の音に続けてすぐのタッピングが困難であったため全体に長くなったが、PSEは基準よりも短くなる傾向にある(実験1)ため、2回目以降の間隔は500ms以下になったと考えられる。

音系列毎に2回目から8回目までのタッピング間隔の平均値をTable 4に示す。分散分析の結果、音系列の主効果が認められた($F(4, 28)=12.45$, $p < .01$)。フィッシャーのLSD検定の結果、等間隔系列と比較して、前半短縮系列と後半遅延系列のタッピング間隔が長く($p < .05$)、前半遅延系列と後半短縮系列のタッピング間隔が短いことが示された($p < .05$)。前半短縮系列と後半遅延系列、前半遅延系列と後半短縮系列のタッピング間隔に有意差は認められなかった。

前半短縮系列と後半遅延系列は500ms以上、前半遅延系列と後半短縮系列は500ms以下の時間間隔から構成される。従って2回目から8回目までのタッピング間隔は前半や後半の時間間隔というより、音系列全体の7個の時間間隔の平均に基づいていたと考えられる。

全体的考察

音系列における時間間隔の比較が何を基準として行われるのかを明らかにするため、3つの実験を行った。

実験1では2つの間隔の弁別閾、等間隔音の数と

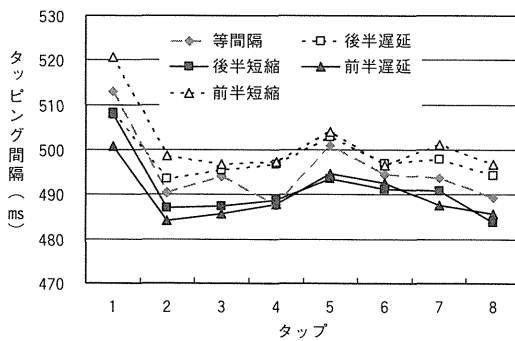


Figure 2 各音系列聴取後のタッピング間隔

弁別閾の関係について調べた。2間隔の弁別閾が30msであること、等間隔音数が多いほど弁別閾が小さくなる傾向が示された。

実験2では微妙に時間間隔が変化する18種類の音系列を提示して時間間隔の変化検出を求め、判断基準がビートであるか間隔であるか検証した。最初の間隔と反応時の間隔との時間差は約17-44ms(3-9%)の範囲にあり、短縮・遅延系列と比較して交互系列の変化検出成績がよいことが示された。最初の間隔を固定周期とするビートからのずれは88-185msであり、音系列によって大きく異なる結果となった。2間隔の弁別閾が30msであった(実験1)ことから、ビートではなく時間間隔が比較基準であったと思われる。等間隔音系列を挿入した場合に変化検出成績がよくなることから、最初の1つの間隔だけでなく、複数の時間間隔を平均して基準をより明確にしている可能性も示された。

聴取した音系列に続けてタッピングさせた実験3からは、再生された時間間隔が聴取した音系列全体の平均を基準としていることが示された。7個程度であればすべての時間間隔の平均化はそれほど負荷が高くないようである。

しかし、本当に7個程度の間隔の平均のみを比較基準と考えて、全ての結果を説明できるであろうか。実験2の交互系列は、500msより長い間隔と短い間隔が連続した構成である。短縮・遅延系列の隣接する時間間隔の差が閾値以下で一定であるのに対して、交互系列では隣接する時間間隔の差が徐々に大きくなる。交互系列における反応時と直前との時間間隔の差を分析すると、32-64msとかなり長い範囲にある(Table 5)。連続する時間間隔に弁別閾より長い時間差があっても、変化を検出できなかったことになる。

交互系列は短縮・遅延系列と異なり、連続する長短2間隔の合計が常に等しくなるため、1音おきに聞くと最初の時間間隔の2倍にあたる1000msの等間隔音系列となる。等間隔音系列が挿入された短縮・遅延系列と挿入されない交互系列の結果を比較すると、ほぼ等しいことがわかる(Fig. 1)。時間間隔の合計が等しくなる音系列の構造に聴取者は敏感(Demany & Semal, 2002)であるため、1音おき

Table 4 再生課題における2-8タップ間隔の平均とSD (ms)

音系列	等間隔	後半遅延	後半短縮	前半遅延	前半短縮
平均	492.97	496.84	488.89	488.27	498.76
SD	4.09	2.89	3.00	3.58	2.65

の等間隔構造は、最初に連続的に挿入された等間隔音系列と同様に時間知覚の感度を向上させた可能性がある。また1000msの等間隔音系列は500msのビートと完全に同期する。内的ビートと外的刺激音の同期が音系列全体の等間隔構造を強調し、等間隔を分割する音による部分的な時間間隔の差異を目立たなくさせたために、連続する間隔間の差異を気づきにくくさせたと考えられる。

交互系列のような時間パターンは、強拍と弱拍とで時間間隔の長短の繰り返しが生じる音楽演奏においてよくみられる。音楽家が演奏時にビートに合わせて身体を動かす傾向とテンポ安定性の向上との関係も指摘されている (Ivry & Richardson, 2002)。本実験の結果は、最初から7個分程度の間隔の平均を基準とする間隔モデルでほぼ説明することができるが、交互系列の結果を考えると、ビートモデルを完全に否定することは出来ない。

近年、間隔モデルとビートモデルを組み入れた multiple timer model も提案されている (Ivry & Richardson, 2002)。このモデルでは、両手タッピングにおける産出間隔の安定性 (Helmholtz & Ivry, 1996) が説明される。まず両手タッピングにおいて右手と左手それぞれ独立した間隔の時間表象が生じ、中枢へアクセスすると仮定される。入力信号が複数の場合は中枢で平均化処理が行われ、何試行も平均化処理が続くとタップ間隔の変動性が減少していくと説明される。そして右手と左手が独立に間隔の表象を形成するという仮定にもかかわらず、両手タッピングが同期する傾向にあることから、ビートモデルと関連するタイミングシステムが中枢で周期的に働いていることも提案されている。

multiple timer model において、間隔に基づいた時間表象が生じ、複数の時間表象の平均化処理が行われるとする考えは、間隔の平均を基準として間隔の比較やタッピングが行われたと考える実験2・3の結果の解釈と一致する。そして間隔に基づく処理が行われていてもビートと関連するシステムがはたらくとする点は、実験2の交互系列の構造の特徴と関連するであろう。

本実験から、時間間隔の変化検出の基準として最

初のいくつかの間隔の平均が重要であることが示され、全体として間隔モデルを支持する結果が得られた。しかし音系列の間隔の構成によっては、内的ビートも形成される可能性があるといえよう。

引用文献

- Abel, S.M. (1971). Discrimination of temporal gaps. *Journal of the Acoustical Society of America*, 52, 519-524.
- Demany, L., & Semal, C. (2002). Limits of rhythm perception. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55, 643-657.
- Drake, C., & Botte, M.C. (1993). Tempo sensitivity in auditory sequences: Evidence for a multiple-look model. *Perception & Psychophysics*, 54, 277-286.
- Getty, D.J. (1975). Discrimination of short intervals: A comparison of two models. *Perception & Psychophysics*, 18, 1-8.
- Halpern, A.R., & Darwin, C.J. (1982). Duration discrimination in a series of rhythmic events. *Perception & Psychophysics*, 31, 86-89.
- Helmholtz, L.L., & Ivry, R.B. (1996). When two hands are better than one: Reduced timing variability during bimanual movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 278-293.
- Ivry, R.B., & Hazeltine, R.E. (1995). Perception and production of temporal intervals across a range of durations: Evidence for a common timing mechanism. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 3-18.
- Ivry, R.B., & Richardson, T.C. (2002). Temporal control and coordination: The multiple timer model. *Brain and Cognition*, 48, 117-132.
- Jones, M.R., & Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review*, 96, 459-491.
- Keele, S.W., Nicoletti, R., Ivry, R.L., & Pokorný, R.A. (1989). Mechanisms of perceptual timing: Beat-based or interval-based judgment? *Psychological Research*, 50, 251-256.
- McAulley, J.D., & Kidd, G.R. (1998). Effect of deviations from temporal expectations on tempo discrimination of isochronous tone sequences. *Journal of Experimental Psychology:*

Table 5 交互系列における反応時と直前との間隔の差 (ms)

変化量	等間隔無	等間隔有
3	40.5	32.5
5	53.3	40.8
7	64.4	47.2

- Human Perception and Performance*, 24, 1786-1800.
- Pashler, H. (2001). Perception and production of brief durations: Beat-based versus interval-based timing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 485-493.
- Schulze, H.H. (1978). The detectability of local and global displacements in regular rhythmic patterns. *Psychological Research*, 40, 173-181.
- Schulze, H.H. (1989). The perception of temporal deviations in isochronic patterns. *Perception & Psychophysics*, 45, 291-296.
- 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.

(受稿 3 月 23 日 : 受理 4 月 27 日)