

時間差のあるパルス列のリズム感 ·エンベロープパタンの影響·

難波精一郎 · 桑野園子 · 宮嶋訓生
大阪大学

概要 : 2 つのパルス列に時間差をつけて呈示すると、時間差によって異なるリズムが知覚される可能性がある。リズム感を規定する時間的要因について聴覚の動特性と関連づけて考察する。

The effect of envelope pattern on rhythm perception of pulse trains with different time conditions.

Seiichiro Namba, Sonoko Kuwano and Norio Miyajima
Osaka University

Abstract: When two pulse trains were presented with a time gap, different rhythm is perceived depending on the length of the time gap. In this study, temporal factors determining rhythm perception will be discussed in relation to the dynamic characteristics of hearing.

1 はじめに

連続的に発生するパルス列の特定の構成音に、何らかのアクセントが規則的に付加されてまとまりが生じると拍節のリズムが現れる。この場合のアクセントとしてラウドネス、持続時間、ピッチの変化などあげられる。実際の音楽の演奏の場合にはメロディーの影響や演奏者の意図的強調など複雑な要因が関与して拍節を生じさせる規則性にゆらぎがみられる。すなわちメトロノーム的に正確な演奏にはなり難い。人工的に発生したパルスの場合には音の側にはこのようなゆらぎは見られない。しかし聞き手の構えや聴覚の動特性によって知覚される拍節に相違が生じることが予想される。よくあげられる例として柱時計のチクタク音のように、物理的には同じ音によって構成される音列の場合でも聞き手の方でアクセントを感じ主観的リズムが体験される場合もある(例えば Klages 1944)。また von Békésy (1967) の観察によれば連続音の場合ですら主観的に音が周期的に途切れる現象、すなわち時間量子の存在を報告している。この主観的リズムの存在は、リズムが聞き手によって作られる現象であって、音の側の物理的アクセントは手掛かりを提供するにすぎないことを示唆している。

従って聞き手にとって主観的にアクセントと感じられる音は必ずしも強い存在である必要はなく、他と異なる特徴を有することがアクセントとなる要件なのかもしれない。リズムの多様な諸相については梅本(1966)の優れた紹介がある。音楽では曲の途中で拍子が変わる複リズムの曲やパートによって異なる拍子を刻む曲などもある。また拍節が定まった曲でも、複数パートからなる曲の実際の演奏では、曲の解釈や各パートの奏法の相違によって重層的なリズムの印象を与える可能性がある。この問題を現実の演奏音の分析によって解明することは興味ある課題であるが、それには分析にふさわしい手法の開発と音楽演奏に対する深い知識を必要とする。

ここでは複数音列の時間的ズレが拍子の印象に与える影響を調べるために人工音の系列を用いて実験的に検討した。すなわち複数の音列相互の間に時間的な不一致が存在する時、音のエンベロープパターンおよび時間差によって種々の知覚的变化が生じるが、この変化がアクセントとしてリズム知覚に

影響を与える可能性は十分考えられる。この知覚的变化は換言すれば聴覚の動特性の反映ともいえるので、時間差を持つ複数音列におけるリズム判断を手掛かりとして聴覚の動特性について検討したい。

ここで我々が提案した聴覚の動特性を図1に示す (Namba, Kuwano and Kato, 1976)。またこの動特性からエンベロープパターンが減衰型の場合には音列を構成する各音が時間的に重畳しても分離的に聞こえ、矩形型の場合には各音が分離していても連続して判断されることが推定できる。実験の結果、この予想は支持された (Kuwano, Namba, Yamasaki and Nishiyama, 1994)。

本モデルを減衰音、定常音と立ち上がり音の主観的持続時間の判断に適用すると

after-effect の少ない減衰音の場合に持続時間の過小評価が有意に見られた (太田・桑野・難波, 1998)。それと共に音列のリズム感が主観的持続時間の判断に影響を与えていることが示唆された (宮嶋・桑野・難波・加藤, 2002)。このモデルを時間差のある複数音列の場合に適用すると、上述のように音列を構成する音のエンベロープパターン、2つの音列の時間差によってリズム知覚が影響を受ける可能性がある。聴覚の動特性と関連づけて検討したい。

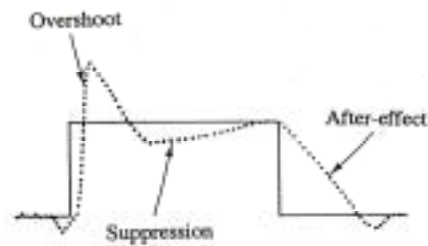


図1 聴覚の動特性

2 実験1

目的 本課題における基礎データを得る目的で実験を計画した。すなわち2つの音列が存在しても同一の音から構成されかつ時間的に同期が取れているとそれは1つの音列に聞こえる。そこで両音列間の時間差を僅かずつ増加させると、やがて音列のズレが弁別され、さらに時間差が大きくなると2つの音列は完全に分離されて聴取されるはずである。このズレの弁別閾の測定および弁別閾がエンベロープパターンの相違によって影響されるか否かについて実験的に検討した。すなわちモデルに従えば減衰音の場合の方が立ち上がり音より分離の弁別閾は小さくなることが予想される。

刺激 L_{AFmax} 75dB の白色雑音を用いて、持続時間 300ms の減衰音と立ち上がり音を作成した。図2のように減衰音、立ち上がり音それぞれを4つずつ、on-time が 300ms、off-time が 300ms となるように並べた音列を作った (図2中の音列A、なお図2では立ち上がり音の例を示す)。その音列とまったく同じ音列をもうひとつ作り、それぞれの音のオンセットを 10-100ms の範囲で 10ms おきにずらし、2つの同じ音列を重ね合わせた音列を作成した (図2中Bの音列)。減衰音、立ち上がり音のそれぞれについて 10 種類、合計 20 種類の刺激を作成した。

被験者 学生 5 名 (男 3 名、女 2 名)

装置 実験は大阪大学環境心理学研究室の防音室で行った。音源は Cool Edit Pro で作成し CD に録音したのち、CD プレイヤーで再生した。音の提示は Stax headphones を用いて行った。

手続 実験は恒常法で行った。減衰音、立ち上がり音の各条件ごとに 10 種類の刺激をランダムな順序で提示した。被験者に図2と同様の図を示し、4つの同じ音からなる音列が次々に提示されるので、一組の音を聞いた後、図2のAのように音がひとつに聞こえたら一つ、Bのように二つに分かれて聞こえたら二つと答えるよう求めた。被験者は1種類の刺激につき 20 回、2条件で合計 400 回の判断を行った。なお、1種類の刺激について得られた判断は合計 100 回 (被験者 5 人 × 20 回) であった。

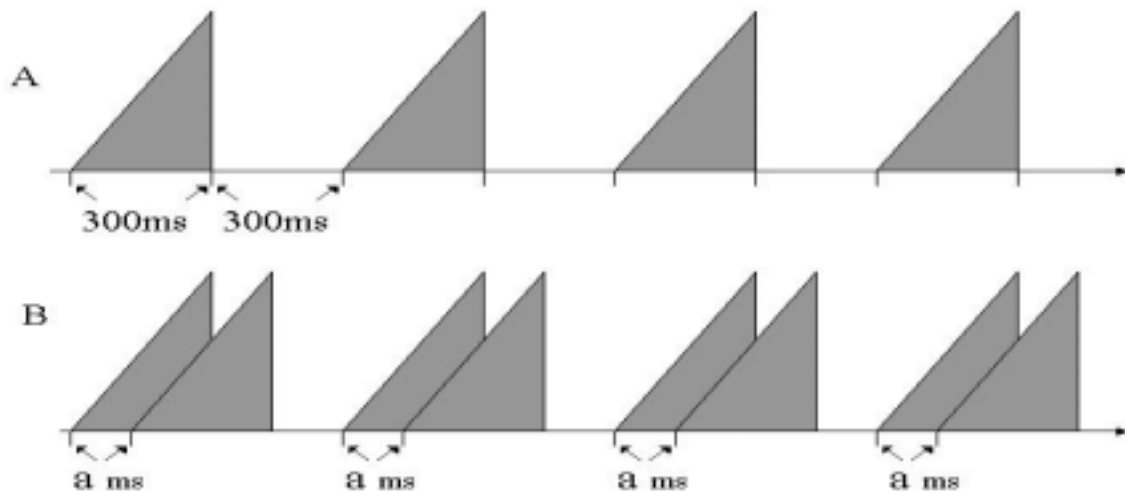


図2 実験1で用いた音列

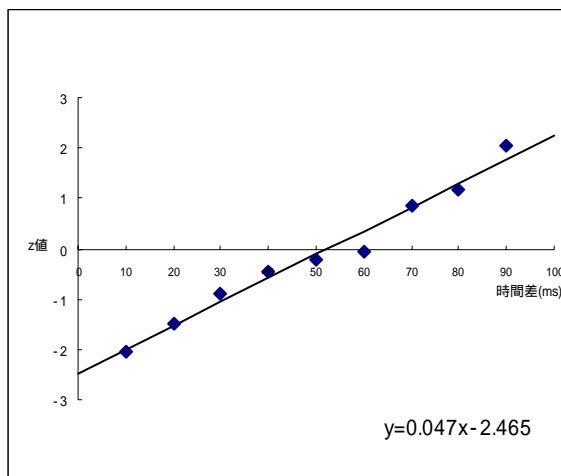


図3a 減衰音の結果

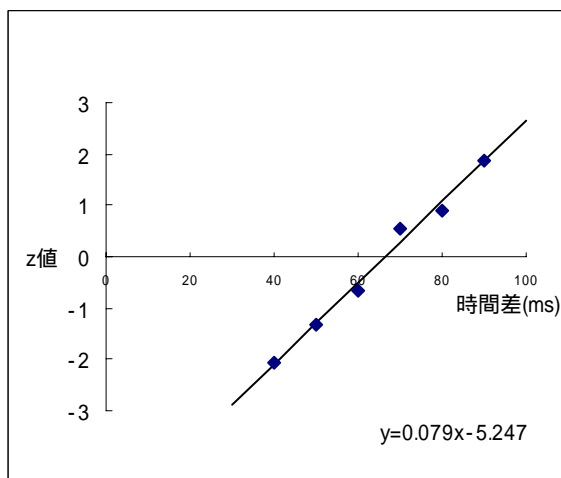


図3b 立ち上がり音の結果

結果

図3aに減衰音の結果、図3bに立ち上がり音の結果を示す。2つに分離したと50%判断される値を弁別閾とすると、減衰音の場合には52.4ms、立ち上がり音の場合には66.4msとなっており、仮定通り減衰音の弁別閾が小さい。Welch法によるt検定をおこなったところ、2つの差は有意であった($t=5.64$, $df=162$, $p<.05$)。なお、明らかに2つに分離して聞こえる値として判断の75%値を求めると減衰音の場合には66.8ms、立ち上がり音の場合には74.9msとなる。

結果の考察

図3a、bに示す実験の結果、仮定通り立ち上がり音より小さい減衰音の弁別閾が得られた。この結果は、立ち上がり音の場合には先行音off後のafter-effectによって後行音の終端部がマスクあるいは混同されて分離の印象が曖昧になったためと思われる。一方、減衰音の場合にはoff後のafter-effectがなく、かつ後行音のon部のオーバーシュートによって後行音のスタートが明確化するので分離の印象が明らかになりやすいためと思われる。

3 実験2

目的 同一のパルスより構成される2つの音列があって仮に規則的な発生間隔において(例えば4番目毎に)2つのパルス間に時間差が生じると、この時間差を生じた箇所が一種のアクセントとなって、リズム知覚を生じさせるきっかけとなる可能性がある。かりに4番目毎に規則的に時間差を生じた場合には4拍子となるはずである。ではどれだけの時間差が生じればアクセントになるかは実験1の結果が参考になる。この問題を実験的に検討するには、最初は総て同じパルスよりなる音列を呈示し、4番目毎のパルスに少しずつ時間差をつけて、その時間差がいかなる値を示した時に4拍子になるか求めればよい。しかし、問題は主観的リズムの存在でたとえアクセントが存在していなくても、被験者独自の主観的リズムを知覚する可能性がある。すなわち、4拍子判断が得られてもその判断がアクセントの存在によるものか、あるいは主観的リズムによるものか判別できない。そこで本実験では次のような手続きを取ることにした。

1) 実験1の結果を参照にして、4番目毎に明らかに2音に分離したパルス(図4A)を呈示し、この条件の時に4拍子のリズムが知覚されることを確認する。まずこの確認が得られることで時間差がアクセントとして機能すること確かめる。次に3番目の音にも1番目の音と同じ時間差をつけて(図4B)今度は2拍子のリズムが知覚されることを確認する。この確認によってアクセントの箇所が増加することによって拍子が異なることを確かめる。

2) 次に精神物理学的測定法・極限法を用いて3番目のパルスの時間差を系統的に変化させて4拍子から2拍子が得られる値(変換点)を求める。

3) この実験において1番目のパルスはアクセントになるために明らかに他のパルスと弁別される必要がある。そこで実験1の結果を参照し、減衰音、立ち上がり音ともに明らかに弁別される値、すなわち75%値の刺激条件を用いることとする。

実験1の結果から、75%値の刺激条件は減衰音で66.8ms、立ち上がり音74.9msであるが、実験ではまとまりのよい数字にするため減衰音で65ms、立ち上がり音で75msとした。この場合の問題は1番目の音すなわち標準刺激の時間差が減衰音、立ち上がり音で異なるので、たとえ4拍子から2拍子への転換点の値が減衰音と立ち上がり音で相違しても、直ちにエンベロープパタンの相違によると結論づけられない点である。

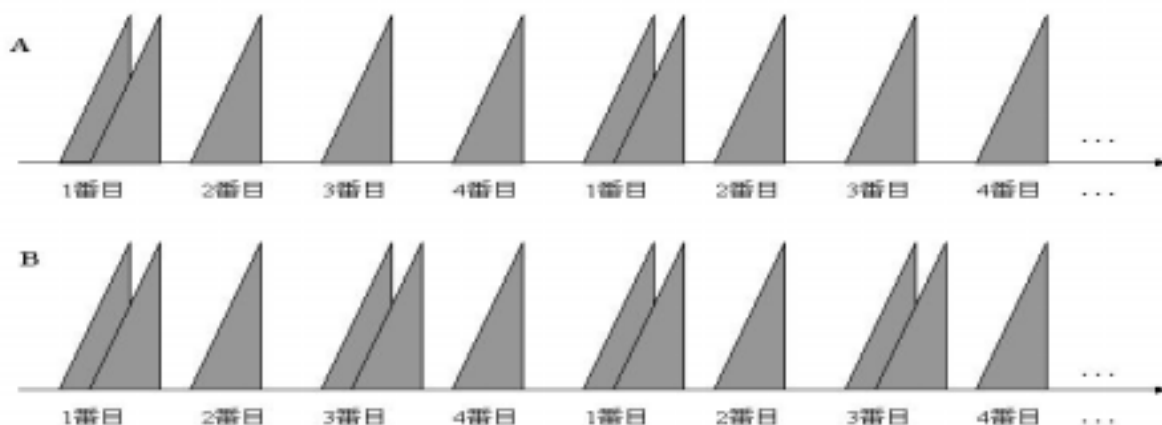


図4 実験2 で用いた音列の模式図 : 3番目の onset のずれを変化させた。

4)そこで標準刺激の値を減衰音、立ち上がり音ともに同じ条件で実験する。この場合の時間差は減衰音と立ち上がり音の中間の値、例えば70msとする。この値は任意の値であるので、標準刺激の時間条件を揃えるという点では意味があるが、減衰音にとっては極めて明らかに2音として弁別できる値であり、立ち上がり音にとってはかろうじて50%弁別閾を越える値ということになり、両者間でリズムのアクセントとしての強度に相違が生じるという問題点がある。

いずれの条件にも問題があるが、今回の実験では本問題に関するいわば予備実験として3)4)両方の条件で実験を実施し、リズム知覚におけるエンベロープパタンの影響について考察することとする。

被験者 学生5名(男3名、女2名)、被験者のうち4名は実験1に参加。

刺激 実験1で用いたものと同じ持続時間300msの減衰音、立ち上がり音を用いて、図4のような音列を作成した。音列の10Iは600msであった。まず、一番目の音は75%の弁別が可能である時間差、つまり定常音には65ms、立ち上がり音には75msをつけ、二つの音を重ね合わせたものを用いた。また、標準刺激の時間条件をそろえるため、その中間の値である70msの時間差をつけた条件でも実験を行った。次に、3番目の音として、時間差を1番目の音と同じ値から10ms刻みで変化させ重ね合わせたものを作成した。2番目、4番目の音は時間差0msで、二つの音を重ね合わせたものを作成した。この4つの音を表1のように組み合わせた音列を作成した。音列は被験者が判断を終えるまで繰り返し提示した。

表1 実験2の実験条件と、音列の構成

実験条件	1番目	2番目	3番目	4番目
減衰70ms	70ms	0ms	0-70ms	0ms
立ち上がり70ms	70ms	0ms	0-70ms	0ms
減衰65ms	65ms	0ms	5-65ms	0ms
立ち上がり75ms	75ms	0ms	5-75ms	0ms

手続き

実験には極限法を用いた。被験者が判断するたびに3番目の音の時間差を10msずつ変化させた。上昇系列の開始点は、減衰音70ms、立ち上がり音70msの条件では0ms、10msの2種類、減衰音65ms、立ち上がり音75msの条件では5ms、15msの2種類を用意した。下降系列の開始点は減衰音70ms、立ち上がり音70msの条件では70ms、60ms、減衰音65msの条件では65ms、55ms、立ち上がり音75msの条件では75ms、65msのそれぞれ2種類を用意した(表1参照)。

実験に先立って、図4と同様の図を提示し、図4・Aの音列を提示し、4拍子に聞こえるかどうかを確認した。次に図4・Bの音列を提示し、2拍子に聞こえるかどうかを確認した。

その後、被験者に判断のたびに3番目の音が変化することを伝え、音列が2拍子に聞こえるか、4拍子に聞こえるか判断し、口頭で答えるように求めた。被験者は上昇、下降の各系列1回以上の練習を行った後、上昇系列4回、下降系列8回の本試行を行った。系列の順序はランダムであった。

結果

表2 2拍子と4拍子の弁別閾

実験条件	平均値
減衰70ms	34.5
立上70ms	35.5
減衰65ms	32
立上75ms	42.75

実験結果を表2に示す。また実験に先立ってパルスにおける時間差がリズム知覚の手掛かりとなることが被験者の内観により確認できた。

結果の考察

標準刺激の値が減衰音、立ち上がり音でそれぞれの75%値を用いた場合、減衰音の変換点が34.1ms、立ち上がり音が44.1msとなり実験1に続いて立ち上がり音の値が大きい。この値をそのま

ま参照すると4拍子から2拍子への転換点にエンベロープパタンが影響することになる。しかし、先に述べたように標準刺激の時間差が異なるので、標準刺激と弁別閾の比、Weber比を求めると減衰音の場合、0.492 立ち上がり音の場合0.57となり、減衰音の方が小さいが差はあまりない。時間差の心理的距離の場合にもWeber-Fechnerの法則があてはまるとすると、両者の間に差が少ないことになる。次に減衰音、立ち上がり音ともに同じ時間差の標準刺激を用いた実験結果によると、減衰音34.5ms、立ち上がり音35.5msで差が見られない。またいずれの刺激条件でも転換点の値が34ms 43msの間であって、いずれにしても2音分離の弁別閾よりはるかに小さい値である。当然、標準刺激の時間差と比べて小さいことになる。従って2拍子と言っても強弱・強弱の反復ではなく強弱・中弱 強弱・中弱が繰り返す1種の4拍子判断をしていた可能性がある。

被験者が教示を十分理解していなかったともいえるが、むしろリズム判断の場合には変数以外の要因が結果に影響することが多く、実験の妥当性に留意する必要が生じることがよくある。例えば本実験の場合でも時間差のあるパルスが時間差のないパルスとラウドネスが異なるという内観報告があった。我々の先行研究では600ms程度のパルスの場合、エンベロープパタンが異なっても、全エネルギー量が同じならばラウドネスはほぼ同じという結果を得ている。ただ部分的にエネルギー増分を持つ音の場合にはラウドネスは変化するがその変化量はさほど大きくない。もし今回の実験において、ラウドネスがリズム判断に影響するほど大きく変化していたとすると、同じエネルギーをもつエンベロープパタンを異にする音のラウドネスの相違を検出していたことになり、これはこれで興味ある問題である。いずれにせよ追試をして確認する必要がある。

リズム実験における実験の統制と共に、ラウドネス関与の検証という今後の課題が残された。

4 まとめ

1 音列の分離の弁別において減衰音の方が立ち上がり音よりも弁別閾が有意に小さかった。この相違には聴覚の動特性が関与していたと解釈できる。

2 パルスの時間差がリズムのアクセントとなることを確認した。

3 音列の分離の弁別とリズム知覚の関係について実験したが、標準刺激の時間条件の設定の相違でエンベロープパタンの影響がみられる場合とみられない場合があった。リズムの判断に時間差以外の要因が関与していた可能性がある。今後の検証が必要である。

引用文献

- von Bekesy, G., (1967) : Sensory Inhibition, Princeton University Press, New Jersey. [勝木保次(監訳)(1969) 感覚と抑制。医学書院]
- Klages, L (1944) : Vom Wesen des Rhythmus, Verlag Gropengiesser, Zurich und Leipzig. [杉浦実(訳)(1971) リズムの本質。みすず書房]
- Kuwano, S., Namba, S., Yamasaki, T. and Nishiyama, K. Percept. & Psychophys., 56(2), 173-182 (1994). 宮嶋訓生, 桑野園子, 難波精一郎, 日本音楽知覚認知学会, (2002.11.)
- Namba, S., Kuwano, S. and Kato, T., Japanese Psychological Research, 18, 63-72 (1976).
- 太田公子, 桑野園子, 難波精一郎, 音響学会春季研究発表会講演論文集, 459-460, (1998.3).
- 梅本堯夫, 音楽心理学(誠信書房1966)