

聴覚心理実験の押さえ所

黒田, 剛士
九州大学大学院芸術工学府芸術工学専攻

宮内, 良太
東北大学電気通信研究所人間情報システム研究部門

蓮尾, 絵美
九州大学大学院芸術工学府芸術工学専攻

<https://doi.org/10.15017/2794875>

出版情報 : 芸術工学研究. 9, pp.63-66, 2008-03-25. 九州大学大学院芸術工学研究院
バージョン :
権利関係 :

聴覚心理実験の押さえ所

What one should care when conducting auditory psychological experiments

黒田 剛士 宮内 良太 蓮尾 絵美 中島 祥好
KURODA Tsuyoshi MIYAUCHI Ryota HASUO Emi NAKAJIMA Yoshitaka

This article aims to indicate points that novice experimenters often miss when conducting auditory psychological experiments. In particular, the experimenter should control distortion and spectral splatters of sound stimuli, and remove the effects of confounding factors such as presentation order and presentation timing. We explained whether and how these problems should be dealt with.

1. はじめに

本資料は、聴覚心理学実験における刺激音合成とバイアスの制御とに焦点を当て、それらにおいて注意すべき点を説明することを目的とした。

講義や教科書において、実験を計画する際に注意すべき点についての説明がされることはほとんどない。これらの事項は、講義や教科書で学んだ基本事項から熟慮すれば導くことができるものであるが、実験計画という作業を実際に行っている中でその全てに気づくのは難しい。刺激音に関わる注意点についてはこれまでに説明がされているが(力丸, 2004)、実験を行ううえで、刺激音においてだけ注意すべき点があるのではない。刺激音の呈示順を無作為化したり、練習試行を設置したりして、実験において生じ得るバイアスを制御することにおいても注意すべき事項はある。刺激音合成から実験手続きまでの全ての問題点に注意を払うことにより、実験が科学的に妥当なものとなるだろう。

2. 刺激音合成

まず、刺激音を合成する際に見落としやすい点について説明する。

2.1. 振幅

刺激音をデジタル合成するには、量子化に用いるビット数を考慮して振幅の最大値を決定する必要がある。ビット数によって扱うことのできる値の範囲は異なり、この範囲を超える振幅値をもつ波形を合成しようとする、正しい波形が得られない。また、フィルター、アンプ、そしてヘッドホンといった出力系に、過大な振幅値を入力すると歪みが大きく生じてしまうので注意する必要がある。一方、過小な振幅値を入力すると信号が雑音の影響を受けてしまう場合がある。

2.2. 立ち上がり, 立ち下がり

音の始まりと終わりには、十分な長さを持つ立ち上がり包絡と立ち下がり包絡とを付加する必要がある。振幅が急に増加、もしくは減衰すると、その部分でスペクトルが広がってしまい、コツツという音やプチツという音が聴こえてしまう(図1)。このような音の知覚を防ぐためには、少なくとも15 ms以上の長さをもつ立ち上がり包絡と立ち下がり包絡とを付加する必要がある(宮坂, 1980)。包絡の形状には直線形状が用いられることが多いが、本資料ではスペクトルの広がりをより抑えることのできるコサイン関数形状を推奨する(Durrant & Lovrinic, 1995)。なお、実験の目的によっては、このようなことにあまり気を使う必要のない場合もあり得る。例えば、出力可能な周波数成分を全て含んでいる広帯域雑音においては、立ち上がり包絡と立ち下がり包絡とを付けなくてもよい。

2.3. 音を時間的につなぐ

二つの音を時間的につなぐ際には、波形の位相を切れ目なくつなぐ必要がある。位相がつながっていないと、

その部分でスペクトルが広がってしまう。周波数の異なる二つの音をつなげる際には位相をつなぐだけでなく、周波数が緩やかに変化する遷移部を用いてつなぐ必要がある。周波数が急に変化すると、その部分でスペクトルが広がってしまう。

2.4. 周波数

刺激音をデジタル合成する際、標本化定理のうえでは、標本化周波数の半分の値以下の周波数が合成可能とされているが、これは実験で実際に使用することができる周波数範囲を定めたものではない。デジタル信号ではエイリアシングにより高周波数領域において歪み成分が生じるため、低域通過フィルタを介して刺激音を呈示する必要がある。その際にフィルタの遮断周波数は標本化周波数の半分以下である必要がある。この遮断周波数は多くの場合、スペクトル上でエネルギーが 3 dB 減衰する周波数点を指しており、遮断周波数よりも低い周波数であってもエネルギーの減衰はすでに生じている。そのため、刺激音に含まれる成分の最大の周波数は、遮断周波数よりも十分に低い値でなければならない。

デジタル合成ではインパルス列が合成されるが、デジタル信号からアナログ信号に変換された後の信号は矩形パルス列であることに注意しなければならない。矩形パルス列は高周波数領域においてエネルギーが減衰するスペクトルを有しているため、アナログ信号に変換された後の信号は周波数が高くなるにつれてエネルギーが減衰する特性を有している。実際に出力されるレベルが理論値とは大きく異なることが保証されている周波数の範囲に全成分が含まれる刺激音を用いる必要がある。

フィルタを持っていない、もしくはデジタル-アナログ変換による周波数成分のエネルギーの減衰量を推定できない場合には、次の値を指標にするとよい。標本化周波数 44100 Hz のデジタル信号では刺激音に含まれる成分の周波数の上限を 8800 Hz とするのが安全である。この上限値におけるエイリアシング周波数は 35300 Hz であり、特別な呈示の仕方をしない限り、この周波数成分が知覚に影響することはない。また 8800 Hz の周波数成分におけるデジタル-アナログ変換によるエネルギー減衰量の推定値は約 0.6 dB と音の大きさの弁別閾値程度であるので、通常の聴覚実験では問題が生じない。

2.5. 雑音

雑音は呈示するたびに、新たに合成しなおす必要がある。雑音とは「振幅、位相、周波数などが統計的に不規則に変動する音または振動（日本音響学会，2003，p.

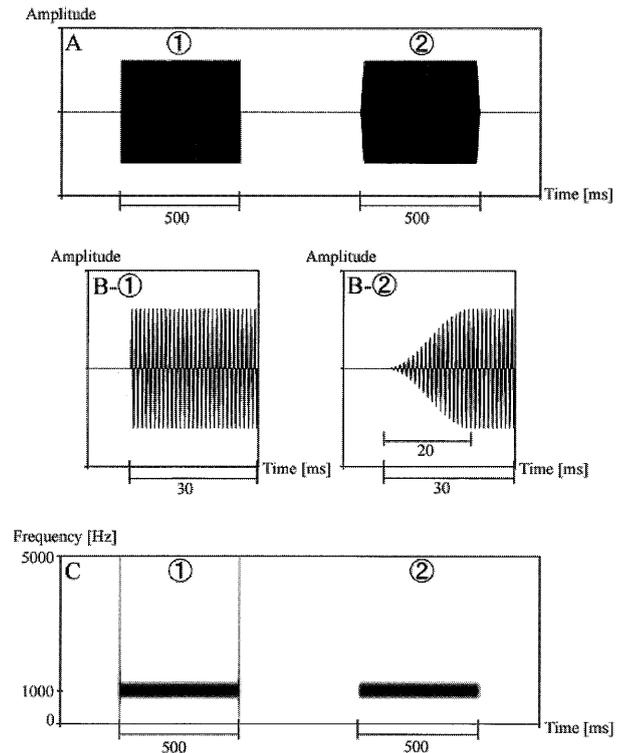


図 1 立ち上がり立ち下りの包絡形状によるスペクトルの広がり: 初期位相が 0° の 1000 Hz, 500 ms の正弦波の始まりと終わりとに、①では立ち上がり包絡と立ち下り包絡とを付加せず、②では 20 ms のコサイン関数形状の立ち上がり包絡と立ち下り包絡とを付加した。A は正弦波①と②との時間波形であり、B-①と B-②はそれぞれ正弦波①と②との立ち上がり部分の時間波形を拡大して示したものである。C は正弦波①と②とのスペクトログラムであり、包絡を付加しなかった①では、始まりと終わりにおいてスペクトルが広がっており、包絡を付加した②では、スペクトルの広がりが抑えられていることがわかる。Praat (Boersma & Weenink, 2007) を用いて作成した。

140)」のことであるので、同じ時間波形を繰り返して呈示した場合、「雑音を呈示」したことにはならない。また、例えば、白色雑音が実用上平坦なスペクトル形状を持つといえるのは、十分に長い持続時間のサンプルをスペクトル分析したときのみである。短時間のサンプルをスペクトル分析したときでは、スペクトルのエネルギー分布にかなりの偏りがある。したがって、同じ雑音波形を繰り返して呈示した場合、エネルギー分布の偏った同じ音を繰り返して呈示したことになる。

コンピューターを用いて雑音を合成する場合には特に注意する必要がある。コンピューターを用いた雑音の合成では、擬似乱数を生成し、それを基にして合成を行うことが多い。しかし、プログラムによっては起動した直後に毎回同じ数列を乱数列として生成する場合がある。そのようなプログラムを用いて雑音を合成しようとすると、プログラムを起動した直後に合成される雑音の時間

波形は毎回同じになる。使用するプログラムにおいてこのような問題が生じているなら、起動直後に毎回異なる乱数列が生成されるような処理を追加しておく必要がある。

2.6. 物理測定

刺激音が実験者の意図したとおりにスピーカーやヘッドホンから出力されていることは聴覚心理実験の前提であり、実験の前に必ず確認をする必要がある。注意すべきことは、波形編集アプリケーションを用いて音ファイルの波形およびスペクトログラムを観測するのはプログラムのデバッグでしかないということである。例えば、周波数の異なるいくつかの刺激音を音ファイルの段階で同じ振幅値に揃えても、実際に出力される音のレベルはヘッドホンなどが持つ周波数特性の影響を受けて周波数間で大きく異なってしまう可能性がある。刺激音が問題なく出力されているかどうかは、ヘッドホンもしくはスピーカーから出力された音を騒音計や周波数分析器を用いて観測することでしか確認できない。本資料で述べた刺激音に関する問題点の多くは、物理測定をしっかりと行っていれば気づくことができるものである。

3. 実験におけるバイアスの制御

次に、実験において生じ得るバイアスを制御する際の注意点について説明する。

3.1. 刺激音の呈示順の無作為化

刺激音を無作為な順序で呈示するのは、呈示順序による結果への影響を聴取者全員の結果を平均することで相殺するためである。したがって、無作為化は聴取者「ごと」に行う必要がある。全ての聴取者に対して同じ順序で刺激音を呈示してしまえば、たとえその呈示順が無作為化により得られたものであったとしても、無作為化の本来の目的は果たされないことになる。雑音の節でも述べたが、呈示順をコンピューターで制御する場合には、プログラムの乱数列の生成方法を確認しておかないと、実験者が気づかないまま、全ての聴取者に同じ順序で刺激を呈示してしまう可能性がある。

3.2. 練習試行とウォーミングアップ試行

聴取者が初めて課題に取り組むような状況では、課題に慣れていないがためにされてしまうような反応があり、安定した聴取者の反応を得るためには、実験の最初に練習試行を設ける必要がある。どのくらいの試行数を設けるかは実験によって異なるが、特定の刺激音に対してのみ練習が偏って行われるのを防ぐため、実験試行におい

て用いる全ての刺激音を練習試行において呈示するのが望ましい。刺激音の数が多などの理由でそうすることが現実的ではない場合には、代表的な刺激音を十分に吟味した上でまんべんなく含める必要がある。

聴取者が休憩をした後すぐに集中力を高めたり課題を行うための手順を思い出したりすることは困難なので、ブロックの始めに二試行ほどウォーミングアップ試行を加えるのが望ましい。そのための刺激音は実験に用いる刺激音の中から無作為に選び出せばよいが、続く本試行で立て続けに同じ刺激音が呈示されないように選び出す必要がある。そうすることが難しい場合には、ブロックの最後の方で呈示される刺激音をウォーミングアップ試行用の刺激音として用いるという方法がある。

3.3. 調整法や極限法におけるバイアスの制御

例として、標準音と等しくなるように比較音の時間的な長さを調整する実験をあげる。このような実験では次に述べる二つの条件で調整を行う必要がある。一つは、試行の最初において比較音の長さが標準音よりも明らかに短く聴こえ、そのため聴取者が比較音の長さを長くする方向に調整を始める条件であり、もう一つは、試行の最初において比較音の長さが標準音よりも明らかに長く聴こえ、そのため聴取者が比較音の長さを短くする方向に調整を始める条件である。ここでは前者の条件を「上昇系列」、後者の条件を「下降系列」と呼ぶ。上昇系列と下降系列とにおいて生じるバイアスは、両系列で得られた結果を平均することにより相殺される。注意すべきことは、試行の最初における比較音の長さは、上昇系列では標準音よりも「明らかに」短く聴こえるものでなければならず、下降系列では標準音よりも「明らかに」長く聴こえるものでなければならないということである。なぜならば、例えば下降系列において、実験者の意図に反して長くする方向に調整がなされた、つまり、下降系列が上昇系列として働いてしまったような状況では、系列の効果によるバイアスの相殺は成立しなくなるからである。同じようなことは調整法だけでなく極限法においてもいえる。判断転換点が必ず出現するように、対象となる物理量を十分に高い値もしくは十分に低い値にして試行を始めるようにする必要がある。

調整法において注意すべき事項がもう一つある。例えば上昇系列において、調整される物理量の初期値を、調整可能な範囲の下限の値に設定してはいけない。下限の値にしてしまうと、聴取者は上昇方向にしか調整をすることができなくなってしまう。このようなとき、その上

昇系列が確かに上昇系列としての役割を果たしていたと断言することはできない。なぜならば、仮にその系列の試行の最初において両方向に調整が可能であったとき、聴取者が下降方向に調整を行う可能性は全くなかったと言いつつ断言することはできないからである。上昇、および下降系列が確かにその系列としての役割を果たしていたかどうかを確認するためには、試行の最初において調整がいずれの方向にもできるようにしておかなければならない。

3.4. 刺激音の呈示

刺激音を呈示する際には、実験者の意図しない要因が刺激音の知覚に影響をおよぼすことがないように工夫をする必要がある。例えば、マウス操作やキーボード操作で呈示ボタンを押した後に、刺激音が即座に呈示されるのは望ましくない。マウスボタンやキーを押すという動作や押した後に生じる短い音が、刺激音の知覚に影響をおよぼす可能性があるからである。マウスボタンやキーを押してから刺激音が呈示されるまでの時間間隔は2000 ms以上あるのが望ましい。

標準音と比較音とを継時的に呈示したり、刺激音を何度も繰り返して呈示したりして、独立した音が時間軸上に並ぶときには、呈示される音間の時間間隔を十分に長くして音同士が知覚的に影響をおよぼし合わないようしなければならない。実験によっては数秒を超える長さに呈示間隔を設定しなければならない場合があり、関連する研究を参照して十分に検討する必要がある。また、呈示間隔それ自体が知覚に影響をおよぼす可能性があるため、呈示のたびに呈示間隔の長さを変化させる必要がある。例えば、呈示のたびに呈示間隔の値をある範囲の中で無作為に選び出すという方法がある。

4. 最後に

本資料では聴覚心理実験における刺激音合成とバイアスの制御とに焦点を当て、それらにおける注意点について説明をした。本資料において要求される事柄の中には、労力を必要とするものや、聴取者への負担を大きくしてしまうものがある。しかし、それらの全ては実験を科学的に妥当なものにするために必要な要件であり、粗末に扱うことはできない。手間を避けて問題点に目をつむっても、最終的には実験をやり直すことになるので余計に手間が増えるだけである。また、課題の難易度が上がっても聴取者を大切に扱うことは十分にできるはずである。本資料において述べられている事柄を一つずつしっかり押さえることにより、ようやく実験が科学の土台の上に

立つのではなからうか。

謝辞

本資料を執筆するにあたり、平成19年度科学研究費補助金（基盤研究（S）、課題番号：19103003、研究代表者：中島祥好）および21世紀COEプログラム「感覚特性に基づく人工環境デザイン研究拠点」の援助を受けた。

文献

- Boersma, P. & Weenink, D. (2007, December 3). Praat (version 4.6.40) [Computer software]. Retrieved December 9, 2007, from <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>
- Durrant, J. D. & Lovrinic, J. H. (1995). Bases of hearing science (3rd ed.). Baltimore: Williams & Wilkins.
- 宮坂栄一, 境久雄 (1980). 信号断続時におけるクリックの知覚. 日本音響学会誌, 36, 244-252.
- 日本音響学会 (編) (2003). 音響用語辞典. 東京: コロナ社.
- 力丸裕 (2004). 聴覚実験で陥りやすい罠. 日本音響学会誌. 60, 614-619.