

持続ホワイトノイズの脈音化現象を誘導するのに 必要な断続純音の呈示音圧

村田 公一^{*1,2}, 井奈波 良一^{*2}, 岩田 弘敏^{*2}

^{*1}日本聴能言語福祉学院 補聴言語学科, ^{*2}岐阜大学医学部衛生学教室

The Presentation Level of Interrupted Pure Tone for Inducing the Pulse Phenomenon of Continuous White Noise

Kouichi MURATA^{*1,2}, Ryouichi INABA^{*2} and Hirotoishi IWATA^{*2}

^{*1} Department of Audiology and Logopedics II, Japan College of Rehabilitation and Welfare Professionals, Nagoya

^{*2} Department of Hygiene, Gifu University School of Medicine, Gifu

Abstract When two sounds which have same spectrum but different amplitude are alternated without silent gap between the sounds, the lower amplitude sound comes to be heard as continuous. This is called "auditory induction" which is one of the most interesting auditory phenomena. The fainter sound is called inducee and the louder sound is called inducer.

The authors previously reported that the addition of interrupted pure tone to continuous white noise induced the pulsed noise. This pulse phenomenon was thought to be a kind of auditory induction; the inducer is the noise image of white noise with the silent part of interrupted pure tone and the inducee is the noise image of white noise with the pure tone part of interrupted pure tone. The authors hypothesized that an auditory filter made with the pure tone of interrupted pure tone generates the two noise images in the continuous white noise. Present experiments were made to investigate the change of "the threshold of interrupted pure tone for inducing the pulse phenomenon" (TIP) when the presentation level of continuous white noise and the frequency of interrupted pure tone are changed. TIP was constant and independent of both the amplitude of continuous white noise and the frequency of interrupted pure tone. All subjects reported that the higher the frequency of interrupted pure tone is, the harder it becomes to hear the pulsed noise image. It is supposed that this phenomenon does not contradict the theory of the auditory filter.

Key words: Auditory induction (聴覚的誘導), Auditory filter (聴覚フィルター), Inducer, Inducee

緒 言

興味深い聴覚現象の一つに「聴覚的誘導: auditory induction」と呼ばれる錯覚がある¹⁾。「聴覚的誘導」には幾つかの類型がある。スペクトルが同じで音圧の異なる2つの音を無音区間を設けずに交互に呈示する場合の「聴覚的誘導」においては2音の交替周期が遅い場合には音が交互に聞こえるが、交替周期が速くなると音圧の小さい音が持続して聞こえるようになる²⁾。断続的に聞こえる音圧の大きな呈示音は inducer, 持続的に聞こえる音圧の小さな呈示音は

induceeと呼ばれている³⁾。この「聴覚的誘導」においては実際には持続的な呈示音がないために持続的に聴取される音像の持続性については「錯覚的な持続性: illusory continuity」と呼ばれている¹⁾。以下本稿においては「聴覚的誘導」とはこの「錯覚的な持続性」を引き起こすタイプの「聴覚的誘導」を意味するものとする。

「聴覚的誘導」が生じている場合にはinducerの「聞こえ」に変化が生ずることが知られている³⁾。著者らはこの現象を重視し、単一の持続音であっても「聞こえ」の異なる部分が交互に出現するような条件が

Reprints requests to: Kouichi Murata, Department of Audiology and Logopedics II, Japan College of Rehabilitation and Welfare Professionals, 2-14, Wakamiya-cho, Nakamura-ku, Nagoya, Aichi 453-0023, Japan E-mail: st@nihonchono.ac.jp

揃えば「聴覚的誘導」が生ずるのではないかと考えた。

著者らはこの「聞こえ」を変化させる可能性のある聴覚機構として聴覚フィルター (auditory filter) に着目した。聴覚フィルターとは音響信号の周波数を中心周波数とする帯域通過フィルターで、聴覚系に想定される生理機構である³⁾。この機構の働きにより音響信号近傍の周波数帯以外の雑音成分の大部分は聴覚上除去され、効率よく音の分析が行なえると考えられる。このようなフィルターが聴覚系に存在するのであれば、純音を重畳した場合の雑音の「聞こえ」は単独に呈示された雑音の「聞こえ」とは異なることが予想される。もし、聴覚フィルターを通じて雑音の「聞こえ」を変化させることが可能であれば、持続ホワイトノイズに断続純音を重畳した場合には断続純音の純音非呈示部と純音呈示部に各々呈示されるホワイトノイズの「聞こえ」が異なる可能性が考えられる。

著者らはこの「聞こえ」の異なると推測される持続ホワイトノイズの2つの部分が各々「inducer」と「inducee」を構成すれば、「聴覚的誘導」が生じる可能性があるという仮説に基づいて既に実験を行なった。その結果、持続ホワイトノイズに断続純音を重畳することにより持続ホワイトノイズが脈音化して聴取されるようになることを報告した⁴⁾。この持続ホワイトノイズの「脈音化現象」においては呈示音が持続ホワイトノイズと断続純音の2つであるのに対して、聴取される音像は持続的な雑音像、断続純音の音像および断続した雑音像の3つで、この3つの音像のうち持続的な雑音像が錯覚的な音像であると著者らは推定した⁴⁾。今回、著者らは断続純音の周波数と持続ホワイトノイズの呈示音圧を変化させた場合に「脈音化現象」を誘導するのに必要な断続純音の閾値 (以下「脈音化閾値」) がどのように変動するかを調べるために、持続ホワイトノイズの各呈示音圧における「脈音化閾値」を断続純音の周波数毎に測定した。その結果、「脈音化閾値」と持続ホワイトノイズの呈示音圧と断続純音の周波数との間に興味深い関係が見出されたので報告する。

被験者と検査音

被験者

被験者は日本聴能言語福祉学院の職員および学生で、20歳から35歳 (平均年齢: 25.1歳, 標準偏差: 3.7歳) までの20名 (男性5名, 女性15名) である。被験者は全員、測定周波数の純音の最小可聴閾が10dB以内であった。被験者には実験前に実験の趣旨を十分説明し、同意を得た。なお、被験者には薄謝を進呈した。

検査音

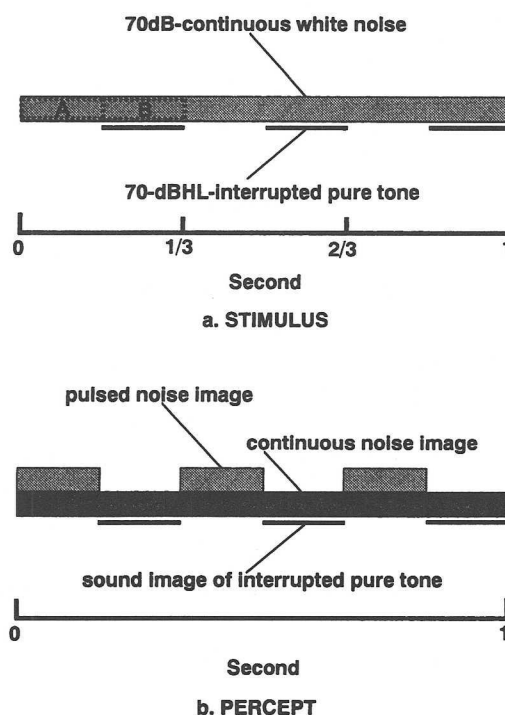
検査音はオーディオメーター (リオンAA-61BN) より

発振される持続ホワイトノイズおよび断続純音を用いた。検査音はオーディオメーター付属のヘッドフォン (リオンAD-02) を介して呈示した。検査は聴力検査室 (リオンAT-70) 内にて行なった。呈示音圧の表示は持続ホワイトノイズはdB SPL, また断続純音はdB HLである。

実験方法

実験1.

持続ホワイトノイズを右耳より70dBで与え、同側より70dBの断続純音を断続周期3Hzで同時呈示した (Fig.1a)。しばらくして、被験者が断続純音の音像 (sound image of interrupted pure tone) と持続した雑音像 (「持続的雑音像」: continuous noise image) の他に脈音化した雑音像 (「脈音化雑音像」: pulsed noise image) を確実に捉えたら (Fig.1b), 今度は「脈音化雑音像」が聴感上消失するまで断続純音の呈示音圧を5 dBステップで降下させた。「脈音化雑音像」が消失した時点の断続純音の呈示音圧を持続ホワイ



The sound image of Box A and that of box B are supposed to be an inducer and an inducee respectively for inducing the pulse phenomenon. The frequency of interrupted pure tone ranges from 125 to 8000Hz.

Fig.1 Representation of the stimulus and the perceptual configuration when the interrupted rate of interrupted pure tone is 3Hz.

トノイズのそのレベルにおける「脈音化雑音像」を誘導するのに必要な断続純音の閾値とし、これを断続純音の「脈音化閾値」と定義した。以下、持続ホワイトノイズの呈示音圧を10dBステップで40dBまで順次降下させ、持続ホワイトノイズの各レベルにおける断続純音の「脈音化閾値」を測定した。断続純音の対象周波数は125～8000Hzでオクターブステップにて測定した。

なお、被検者の聴力の保護を考慮し、70dBより強い音は呈示しなかった。従って、持続ホワイトノイズと断続純音の呈示音圧が共に70dBで「脈音化雑音像」が生じなかった場合には当該周波数の断続純音においては「脈音化雑音像」は誘導されないと判断した。

実験2.

本現象をマスキング現象と比較するために、持続ホワイトノイズの存在下における断続純音の聴取閾値を測定した。実験方法は以下の通りである。

右耳より、持続ホワイトノイズを呈示した。次に断続純音を同側耳より重畳し、下降法により断続純音の聴取閾値を測定した。断続純音の周波数は1,000 Hzである。なお、持続ホワイトノイズの呈示音圧は70dBから40dBで10dBステップにて測定した。

統計学的処理

実験2. のデータについてはTukeyの一元配置分散分析⁹⁾を用いて分析した。

実験結果

実験1.

Table.1に持続ホワイトノイズの各呈示音圧における断続純音の呈示周波数毎の「脈音化閾値」の平均値を25歳未満(10名)と25歳以上(10名)の被検者に分けて示した。ホワイトノイズの呈示音圧に関係なく「脈音化閾値」の平均値は断続純音の各周波数において変動幅5 dB以内に収まっていることが判明した。25歳以上の被検者においては断続純音の周波数が8000Hzの時に「脈音化雑音像」は誘導されな

った。また、断続純音の周波数が高くなるほど「脈音化雑音像」が聞き取りにくくなると全被検者が答えた。

実験2.

Fig.2に持続ホワイトノイズの各音圧レベルにおける断続純音の聴取閾値を各レベルにおける「脈音化閾値」と合わせて図示した。その結果、有意水準1%以下で「脈音化閾値」は持続ホワイトノイズの呈示音圧とは無関係に一定していることが判明した。

考 察

同一のスペクトルを有するinducerとinduceeによって誘導される「聴覚的誘導」においては呈示音間の音圧の差が「錯覚的な持続性」を生じさせる要因である²⁾。しかしながら、ホワイトノイズに純音を重畳しても、ホワイトノイズのスペクトルに純音のスペクトルが加わるのみでホワイトノイズのスペクトルも音圧も共に変化することはない。従って、今回の実験においてはinducerとinduceeを構成するような物理的な構造の違いは呈示音に見出せないことになる。

著者らは既に本現象は断続純音の純音非呈示部と純音呈示部に各々呈示されるホワイトノイズの雑音像 (Fig.1の破線部 Aおよび B)がそれぞれinducerとinduceeを構成して誘導される一種の「聴覚的誘導」であると推定した⁴⁾。被検者の聴覚的印象によれば純音を重畳したホワイトノイズと単独呈示されたホワイトノイズは「大きさ」と「音色」が異なる⁹⁾。このような「聞こえ」の違いはA部とB部の雑音像にも生じていると考えられる。従って、A部とB部の雑音像が互いにinducerとinduceeを構成して「脈音化現象」を誘導する可能性は十分あると思われる。著者らはこのような「聞こえ」の違いを生じさせているのは聴覚フィルターではないかと考えた。人の聴覚系には信号音の周波数近傍以外の周波数の音を濾波する聴覚フィルターと呼ばれる一種の帯域通過フィルターが存在すると考えられている。このようなフィルター機構をホワイトノイズが通過すれば通過の前後

Table 1 Thresholds of interrupted pure tone for inducing the pulse phenomenon.

A.

frequency of pure tone (Hz)	level of white noise (dB)			
	40	50	60	70
125	56.4±3.5	55.7±4.2	58.6±5.2	55.7±4.9
250	55.0±6.0	54.3±5.6	57.1±4.5	56.4±3.5
500	57.1±5.2	57.1±3.6	55.7±4.9	57.9±3.6
1000	59.3±4.2	58.6±4.4	59.3±4.2	58.6±3.5
2000	57.9±3.6	57.9±3.6	57.6±4.5	60.0±2.7
4000	58.6±3.5	57.1±3.6	56.4±4.4	57.1±5.2
8000	55.8±5.3	55.0±3.8	55.0±5.3	59.3±4.2

B.

frequency of pure tone (Hz)	level of white noise (dB)			
	40	50	60	70
125	53.8±4.1	55.6±3.9	55.6±3.9	55.6±3.9
250	56.9±4.3	55.6±5.3	57.5±3.5	58.8±4.1
500	55.0±3.5	58.1±4.3	58.1±3.5	56.9±3.5
1000	56.3±4.1	57.5±5.0	56.9±3.5	57.5±4.3
2000	55.6±3.0	56.9±4.3	56.3±4.1	59.4±3.0
4000	58.8±4.8	56.3±4.1	58.8±4.8	58.1±3.5
8000	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.

The value shows mean ± standard deviation (dB).

A: The ages of ten subjects were 20,20,21,21,23,23,23,24,24 and 24 (male 2 and female 8; mean age 22.3 years, SD 1.6 years).

B: The ages of ten subjects were 25,25,25,26,26,26,29,30,31 and 35 (male 3 and female 7; mean age 27.8 years, SD 3.2 years).

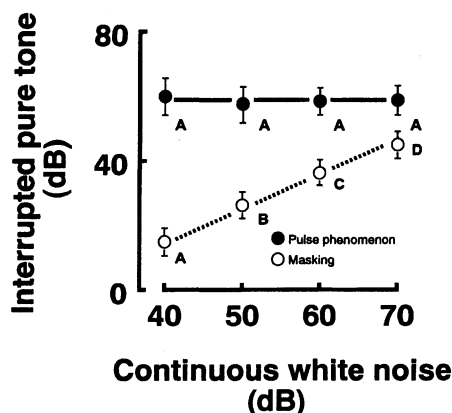
* N.I. means not induced.

でホワイトノイズの「聞こえ」は変化すると思われる。ホワイトノイズに重畳した純音は聴覚フィルターを形成すると考えられるので、A部とB部の雑音像に想定される「聞こえ」の違いが重畳した純音によって生じている可能性が考えられる。

聴覚フィルターの通過帯域幅である臨界帯域幅は信号音の周波数が低いほど狭く、また周波数が高いほど広くなることが知られている⁹⁾。即ち、ホワイトノイズに周波数の高い純音を重畳した場合には聴覚フィルターを通過するノイズ成分の割合は周波数の低い純音を重畳した場合に比べ、相対的に大きくなり、単独呈示されたホワイトノイズと聴覚フィルター通過後のホワイトノイズの「聞こえ」の差は小さくなると考えられる。従って、断続純音の純音非呈示部と純音呈示部で各々呈示されるホワイトノイズの雑音像同士の「聞こえ」特に、「大きさ」の差は小さくなりinducerとinduceeを構成しにくくなるのでないかと推定される。持続ホワイトノイズに重畳する断続純音の呈示周波数が高くなるにつれて「脈音化雑音像」がとらえにくくなるのは聴覚フィルターのこのような特性を反映しているのではないかと考えられる。以上の点から考えて本現象の発生は聴覚フィルターの理論と矛盾しないように思われる。

雑音と純音の聴覚的な競合実験としてはマスキングが一般的である。マスキングとはマスクされる音(マスカー：一般に純音)の最小可聴閾がマスクする音(マスカー：一般に雑音)によって上昇する現象である。マスキングにおいてはマスカーの音圧が上昇することによってマスカーの最小可聴閾も上昇する。しかしながら、「脈音化現象」においては持続ホワイトノイズの呈示音圧が変化しても断続純音の「脈音化閾値」はほとんど変化しない(Fig.2)。これは本現象とマスキング現象との大きな相違点である。筆者らの聴覚フィルター仮説に従えば、聴覚フィルターの幅が拡大するほどA部とB部の「聞こえ」の差は小さくなり、inducerとinduceeを構成しにくくなると考えられる。「脈音化雑音像」が聴取されないレベルから断続純音の呈示音圧を徐々に上昇させてゆくと、「脈音化雑音像」が聴取されるようになる。これは断続純音がマスクされないレベルでは断続純音の呈示音圧が上昇するに従い、聴覚フィルターの通過帯域幅が狭くなってゆくことを示しているのではないかと考えられる。従って、「脈音化閾値」がホワイトノイズの呈示音圧に無関係に一定しているという事実は、A部とB部の雑音像の「聞こえ」の差がある一定値に達すると「脈音化雑音像」が誘導されることを示唆していると考えられ、さらに研究する必要があると思われる。

25歳以上の被検者においては断続純音の周波数が8000Hzの時に「脈音化雑音像」が誘導されなかったが、被検者は全員実験対象とした純音の聴取閾値が



Each point represents the mean \pm SD of the subjects. Values with different letters are significantly different ($p < 0.01$) by Tukey's multiple range test.

Fig.2 Thresholds of interrupted 1-kHz pure tone for inducing the pulse phenomenon and for masking.

10dBHL以内の健聴者であるのでこれが聴力低下によるものとは考えにくい。これは本現象を誘導するのに必要な断続純音の上限周波数が年齢の影響を受けることを示唆する今後の検討課題である。

まとめ

健常な両耳聴力を有する20名に対してヘッドフォン受聴にて一側耳より一定レベルの持続ホワイトノイズに断続純音を重畳して与える実験を行ない、以下の知見を得た。

- 1) 持続ホワイトノイズの呈示音圧と断続純音の周波数に関係なく「脈音化閾値」は一定していた。
- 2) 25歳以上の被検者においては断続純音の周波数が8000Hzの時に「脈音化雑音像」が出現しなかった。
- 3) 「脈音化雑音像」は断続純音の周波数が高くなるほど聴取しにくくなった。

以上の結果より「脈音化現象」は聴覚フィルターと「聴覚的誘導」の作用によって生じている可能性が示唆された。

謝辞

本研究を実施するにあたり、日本聴能言語福祉学院職員の諸氏と学生の皆様には被検者として御協力頂きました。また岐阜大学農学部教授川島光夫先生には統計処理に関してご教授頂きました。以上の方々に心より感謝の意を表します。

文献

- 1) Warren, R.M., Obusek, C.J. and Ackroff, J.M.: Audi-

- tory induction: Perceptual synthesis of absent sounds, *Science*. 1972; **176**: 1149-51.
- 2) Warren, R.M., Bashford, J.A., JR., Healy, E.W. and Brubaker, B.S.: Auditory induction: Reciprocal changes in alternating sounds, *Percept. Psychophys.* 1994; **55**: 313-22.
 - 3) Moore, B.C.J. An Introduction to Psychology of Hearing, Academic Press, London, 1989: 84-136.
 - 4) 村田公一, 井奈波良一, 岩田弘敏. 断続純音を重畳した場合の持続ホワイトノイズの脈音化現象, *日本衛生学雑誌*, 1997; **52**: 562-6.
 - 5) Snedecor, G.W. Two or More Random Samples of Measurement Data. In: Snedecor, G.W.. Ed. *Statistical Methods* (5th ed). Ames: Iowa State University Press, 1956: 237-90,
 - 6) Zwicker, E., Flottorp, G. and Stevens, S.S.: Critical band widths in loudness summation, *J. Acoust. Soc. Am.* 1957; **29**: 548-57.
- (受付 1997年10月4日 受理 1998年1月22日)