

聴覚研究は今がチャンス

—錯覚を見つけよう—

中島 祥好

九州大学

Do not miss the opportunity to find new auditory illusions

Yoshitaka NAKAJIMA

Kyushu University*

Despite the importance of auditory perception in our everyday life and in the history of experimental psychology, systematic investigations of auditory organization began just recently. Auditory events and auditory streams seem to play vital roles in the very early stages of auditory organization just like figures and grounds do in visual organization. One of the new auditory illusions, the gap transfer illusion, is described in order to show the high potential of this new research field.

Key words: auditory perception, auditory organization, auditory event, auditory stream, the gap transfer illusion

1. はじめに

実験心理学の歴史において、聴覚研究が新しい流れの発端になったことが何度かある。中でも大きい出来事として、Ehrensfe1によるメロディー知覚に関する考察がゲシュタルト心理学の登場を促したことが、S. S. Stevensによる音の大きさ、音の高さの研究が、主観量どうしの関係を直接測定する道を開いたことが、Broadbentによる聴覚コミュニケーションに関する研究が、注意の概念を確立し、認知心理学の先駆けとなったことが挙げられる。認知心理学のもう一人の先駆け者として、人間を情報処理システムであると捉え、システムの制約条件として「マジカル・ナンバー 7±2 the magical number seven, plus or minus two」を見出したことで知られるG. A. Millerの名を挙げることができよう。彼がこのような成果を上げた基礎には、聴覚コミュニケーションに関する地道な研究があった。

人間が、環境に関する情報の80パーセントを視覚を通して得ていると言われることがあり、音響を専門にしている学生も、そのように信じていることがある。(なぜ80パーセントという数字がよく出てくるのか、おそらく出典もあろうが、調べたことはない。)役割の異なる感覚をパーセントの値で比較することにあまり意味があるとは思えず、気にしなければよいのかもしれないが、指導している学生が「聴覚は残りの20パーセントを触覚や味覚と分けあっている」との意識を持つようなことがあると、研究の勢いを削ぐことにつながりかねず、問題ではないかと感じている。このような認識が広まっている理由の一つには、音響と映像とをデジタル情報としてとり扱う際に、映像の方にはるかに多くの情報量が割り当てられるという事情があるかもしれない。しかし、このような割りきった比較をあえてするのであれば、大脳皮質のレベルで、直接聴覚に関わっている領域と、直接視覚に関わっている領域とでは、どちらに多くのニューロンがあるかを問わなければならないであろう。一筋縄で比較することはできないが、ごく大ざっぱに見て聴覚と視覚とに割かれている大脳皮質の資源は、ほぼ拮抗

* Faculty/Graduate School/School of Design, Kyushu University, 4-9-1 Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka 815-8540

するものであり、いずれか一方に圧倒的に多くの資源が割かれているということはない (Handel, 1989).

2. 聴覚の役割

聴覚の重要性については、その進化の歴史を見れば誰しも納得がいくと思う。魚類の段階では、平衡感覚、振動感覚と聴覚との境界が曖昧であった。しかし、両生類が生ずるや否や空気を伝わる疎密波である音を聴くための聴覚器官が生じたということが、化石の調査から分かっている。この時点で、ヒトの聴覚に直接つながる感覚が生じたと言ってよい。このような進化が生ずる際に、それまで魚類の段階においては顎を支えていた骨が、鼓膜の振動を内耳に伝えることに転用されており、捕食、摂食に不利を生ずることを上回って、よりよく音を聴くことの利点があったことが分かる。聴覚によって、視覚によっては捉えることのできないような方向や場所から情報を得ることができるということは、かなり重要であったに違いない。哺乳類が現れたときには、聴覚器官が格段に精巧なものとなり、大型の爬虫類を避ける夜行性の生活において、変化や危険を察知するための能力が向上したものと推測されている。ヒトが登場してから後の時期には、話し言葉の複雑なパターンを短時間で聴き分けるような能力が生じたはずであり、その間接的な証拠は脳の左右の機能差を示す頭骨の化石などに見ることができる。ヒトの聴覚は、何よりもまず言葉を解するための感覚であり、ヒトと他の動物との違いを決定づけるものである。

日常生活において、まず音を聴くことによって何かに気づき、それから目で見ることによって詳しく確かめるということがよくある。視覚的な情報は、光さえ当たれば止まっているものからも得られるのに対して、聴覚的な情報は、何か動いて音を出さなければ得られない。聴覚は基本的に何物かの動きを捉える感覚である。動きに含まれる時間パターンを把握することも、聴覚の重要な役割である。言葉や音楽などの聴覚コミュニケーションに際しても、時間パターンを伝え、把握することが、極めて重要である。単純化して言うならば、視覚は空間の把握に優れており、それに対して聴覚は時間の把握に優れている。

3. 聴覚体制化についての研究現況

我々の聴覚システムは、耳に入ってきた音の情報を、相当手の込んだやり方で処理している。そして、我々の体験する音は、割合にはっきりといくつかのまとまりに分かれて、秩序づけられている。そのまとまりがどのよ

うなものであるのかが、最近の聴覚心理学の世界では大きな話題になっており、私もこのような研究に携わっている。多くの場合、柱時計の時報や、猫の鳴き声などのように1回、2回と数えられるような音の、1回分を「音事象 auditory event」と呼びうるであろう。また、ある1匹の動物、場合によっては一群の動物や、一つの機械から発せられるような、あるいはそのように聴こえる、ひとつつながりの音を「音脈 auditory stream」と呼ぶことが定着しつつある。孤立した1回きりの音事象も、音脈であると考えてよかろう。我々の日常の体験に照らせば、「音事象」、「音脈」のようなまとまりを考えることはすんなりと受け入れられるが、この点について知覚実験による実証的な分析を行うことに、現場の研究者は苦勞している (Handel, 1989; Bregman, 1990; Warren, 1999).

音事象、音脈の概念は、視覚における「図と地」の概念のように、聴覚現象の根本にある構造を捉えている。なぜ、図と地の概念をそのまま用いることができないかを確かめるために、ギターの弾き語りにおいて歌が図であり、アルペジオ（和音を構成する音を一音一音分けて弾くこと）のギターの音が地であると、仮に考えてみよう。視覚において、壁紙の手前に花を飾ったような構図の静物画を例にとると、通常、花が図であり壁紙が地であると知覚される。壁紙の一部が花に隠され、その部分はどうしても見ることはできないが、地である壁紙は全体として平らにつながっているように知覚される。また、壁紙のほうに注目しても、花が、地あるいは地の一部として知覚されることは極めて起こりにくい。ところが、弾き語りの場合、歌ではなくギターの音を聴き取ろうと努力すれば、一音一音を明瞭に聴きとることができる。つまり、隠れている音はない。また、例えばギターのバス（最低音）の動きを聴き取ろうとすると、いつの間にかその音が前面に出てきたように、歌のほうが悪ろに退いたように感ぜられる。弾き語りの横で誰かがひそひそ話をしているのが気になり始めると、今度はその声が前面に出てきて、歌もギターも知覚体験としては悪ろに退いてしまう。ひそひそ話は、急に悪ろから前に出てきたかのように聴こえ、しかも以前から続いていたという時間的つながり temporal coherence の感じを伴う。歌、ギターの音、ひそひそ話などはすべて聴覚システムに与えられており、その中のどれを前面の音として聴きとるかは、注意によって変化するわけである。

歌が図であると考え、いつのまにか図がそのまま、地または地の一部になってしまったことになり、不合理である。ちょっと見たところ、これは「図地反転」

の一種であるように見えるかもしれないが、全く異なる現象である。なぜなら、この弾き語りの例では、図によって地の一部が隠されるという関係が見られず、またそれまで図であった部分が地になった途端に形を失うということもないからである。聴覚現象に「図と地」の考えかたを持ちこむことは、類推として有効な場合もあるかもしれないが、今の例のようにうまくいかない場合も多い。ここで示したような、聴覚の世界における体制化のあり方を表現するために音事象、音脈というような概念が必要になる。

視覚の研究においては、19世紀以来、紙の上にさまざまな図形を描いては観察するということによって、体制化に関する考察が積み重ねられてきた。図形をデモンストレーションとして雑誌論文や書物に載せることができるおかげで、特に静止図形の体制化に関する研究が飛躍的に進み、また、その分野に若い研究者が参入することを促進している。聴覚研究においては、CDやインターネットのサイトによって音のデモンストレーションを公にすることが最近盛んになり、状況が改善しつつあるものの、音を聴いただけでは実際にどのようにその音を鳴らしているのかが分からず、聴覚の仕組みについて考えるにはパソコンなどを用いて音を分析する必要があるので、どうしても研究の敷居が高くなってしまいうのである。

ありがたいことに、このような敷居は低くなってきた。例えば、University of Amsterdam の P. Boersma と D. Weenink が Praat というフリー・ソフトウェアを提供しており、一昔前であれば百万円は超えたと思われるような、音の分析、変形の機能が、無料で手に入る。(もちろん、このソフトウェアを研究に用い、その成果を発表する際には、製作者に対する配慮が求められる。) 音を出すためには、例えば Visual Basic を用いて単純な音を出すプログラムを、私の研究室の学生であった宮内良太氏が研究室のサイトに公開している (<http://www.design.kyushu-u.ac.jp/~ynhome/vbdemo/index.html>)。音を聴くだけであれば、時間波形を表すバイナリー・ファイルを作り、Praat のようなソフトで読みこみ、音として鳴らせばよいだけであるから、使い慣れたプログラム言語を用いるのがよいかもしれない。

面白い現象を発見しても、現象報告を集めただけではなかなか正式な論文として受け取ってもらえない。かと言って、技術の進歩に乗じて新しい現象が次々に見つかっているときに、一つの現象だけにあまり時間をかけすぎると、研究のスケールが小さくなってしまいうのである。このような状況を切り抜けるには、現象観察実験を

何とか雑誌論文に掲載してもらえるように工夫すること、時間をかけても惜しくないような知覚の基本に関する現象を優先して取上げること、などが対策になるであろうか。このような観点から、新しい錯覚現象である「空隙転移錯覚 the gap transfer illusion」について、私自身が共同研究者とともに研究を進めている例を、以下に紹介させていただく。(日本音響学会誌 61 巻 5 号 (2005 年) 269-272 に私がこの現象を紹介した記事と、重なる部分が多いことをご了承いただきたい。)

4. 空隙転移錯覚

知覚システムは生物進化の産物であり、生存したり、子孫を残したりするうえで有利になるように、形態や機能をその都度取捨選択していった積重ねによってできあがったものである。致命的な大間違いを起こしにくい、手近に使える手がかりは何でも使うという点については、知覚システムのしたたかさに驚かされる。しかし、生物進化というものを突き放して見るならば、その場しのぎの小さな改良の積重ねであり、そのうえ生物が適応すべき環境は長期的に変化するので、不都合な点を応急的に塞いだままの設計が定着したり、将来問題を起こす可能性のあるような事柄が放置されたりするところがある。このような経緯によってできあがった知覚システムの仕組みを理解するには、通常環境に現れにくいような刺激の配置や組合せを試み、どのような知覚現象が生ずるかを調べるのが有効である。錯覚現象が、このような研究の中心をなす話題であることは、周知のとおりである。視覚においては、何世紀もの昔から多くの錯覚現象が発見されているが、聴覚においては、意外に単純な刺激パターンから生ずる錯覚現象が、最近数十年のうちに発見されている例が少なくない。つまり、「今がチャンス」である。私もささやかではあるが、発見の幸運に恵まれたことがあるので、その一例を紹介させていただきたい。ちょっとしたところで気軽にもう一步踏みこむと、たまにはよいことがあるという例としてご覧いただければ幸いである。

中島と佐々木 (1993) は、時間×対数周波数の座標上で、640 Hz から 2,160 Hz まで直線的に上昇する 1.5 秒の成分と、1,440 Hz から 960 Hz まで直線的に下降する 0.5 秒の成分とが、それぞれの時間的中央において交差するような音刺激パターンについて現象観察を行った。交差点の周波数は 1,175.8 Hz である。Halpern (1977) は、一成分からなる周波数上昇音と、それを時間的に逆転した周波数下降音とを重ねあわせたとき、二つの成分が上下にすれ違った (時間×音の高さの座標で交

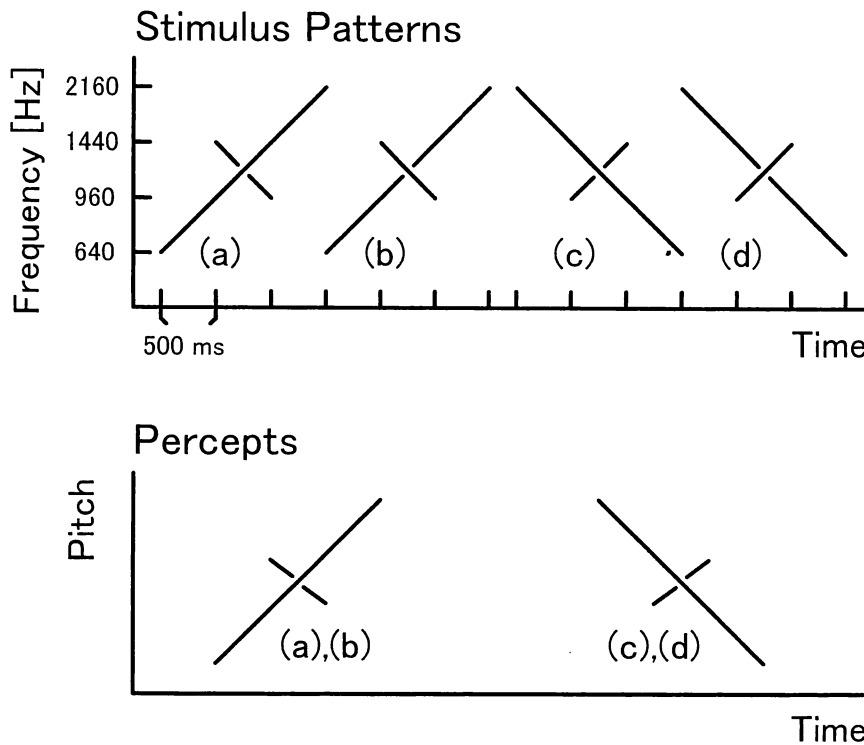


Figure 1 The gap transfer illusion. The illusion takes place when the stimulus pattern (b) or (d) is presented (Nakajima et al., 2000).

差した)とは知覚されず、高い成分と低い成分とが上下から近づき互いに反発してはね返るように知覚される場合の多いことを報告している。その研究は出版されていないが、指導教官として共同研究を行った Bregman (1990) が概要を紹介しており、Bregman と Ahad (1995) が、この現象のデモンストレーションを発表している。中島と佐々木のもともとの目的も、この現象のデモンストレーションを大学における授業の教材として作成することであったが、それだけでは面白くないので、上記のように、下降成分の前後を切り落とし、上昇成分よりも下降成分が短くなるようにしたところ、はね返るような知覚が生じにくくなり、二つの成分が上下にすれ違っているように聴こえやすくなったのである。このパターンは、教室において、はね返りとすれ違いとの違いを説明することに役立った。

次に、このすれ違いの印象を強めようと考え、長い成分の連続性がはっきりと知覚されるように、短い成分に物理的な不連続を導入した。すなわち、Figure 1 上部 (a) に示すように下降成分の中央に 0.1 秒の空隙を設けた。(空隙の前後を含め、すべての立上り、立下りは、0.01 秒である。) この場合、滑らかにつながって上昇する長い音と、中央付近における二つの短い音の連なりとが、はっきりと分かれて知覚され、単純な予測が当たっ

たように見える。短い成分に不連続を導入しただけではデモンストレーションとしての美しさに欠けるので、次に長い成分に不連続を導入し、短い成分を連続したままにしてみた。すなわち、Figure 1 上部 (b) に示すように上昇成分の中央に 0.1 秒の空隙を設けた。すると驚くべきことに、先に作成した (a) の刺激パターンの場合とほとんど変わらないような知覚内容が得られたのである。上昇する長い成分は、物理的に空隙を含んでいるにもかかわらず、つながっているように聴こえ、それとは別に二つの短い音の連なりが聴こえた。明らかな錯覚が生じたわけである。

(a), (b) を時間的に逆転させた Figure 1 上部 (c), (d) のパターンも作ってみたところ、同じような結果が得られた。すなわち、どちらのパターンを聴いても、滑らかにつながった長い下降音と、二つの短い音の連なりとが聴こえた。(d) のパターンにおいて、錯覚が生じたことになる。Figure 1 下部に、それぞれの刺激パターンに対する典型的な知覚内容を示す。

この錯覚現象を「空隙転移錯覚 the gap transfer illusion」と名づけはしたが、実験手法として用いた現象報告を、現代の学術雑誌の査読基準に合わせることに手間取り、なかなか雑誌論文として発表することができなかった。結局、たくさんの現象報告を分類して表にまと

め、統計的検定にもかけるという形で切り抜けた。また安全を期して、優秀な卒研生に、対応のつく精神物理学的なデータを大量に集めてもらった (Nakajima et al., 2000)。この現象が静止図形の知覚に関するものであれば、典型的なデモンストレーションを示すだけですぐに発表できるのにと、歯がゆい思いをしたことが記憶に残っている。

5. 事象構築モデル

論文をまとめるに当たって「事象構築モデル the event construction model」を提唱した。Figure 1 上部の (b) と (c) とを比べると、時間的中央の 0.5 秒くらいは物理的にほとんど違いがないにもかかわらず、(b) においては上昇音が連続していると知覚され、(c) においては下降音が連続していると知覚される。つまり、上昇音と下降音とが交差する部分において、どちらの音がつながっておりどちらの音が切れていると知覚されるかは、交差するところに置かれた空隙から前後に 0.2 秒離れたところで、どの音が物理的に途切れ、どの音がそのまま前後に伸びているかによって決まることになる。そうすると、空隙転移錯覚を聴覚システムの末梢のふるまいから説明することは難しいと考えるべきであろう。

一方、完結した形が知覚内容になりやすい、といった素朴なゲシュタルト心理学の考え方も、そのままでは通用しない。空隙転移錯覚の生じているパターンにおいては、物理的に切れている長い音がつながったように聴こえるので、確かに完結した形を知覚のうえで実現しているように見えるが、それでは、物理的につながっているはずの短い音が切れているように聴こえることを、どのように理解すればよいのであろうか。このような疑問から出発し、「音の始まり onset」、「音の終わり termination」が、あたかも独立の要素であるかのように検出されるとの仮説を得た。その際に、「音の始まり」と「音の終わり」とが、時間軸上にこの順で並び、時間×周波数（あるいは音の高さ）の座標において互いに近ければ、知覚のうえで結びつき、音事象が形成されるのではないかと考えた。(b) のパターンに関して考えると、下降する短い音の冒頭にある「音の始まり」と、上昇する長い音が、空隙によっていったん途切れる際の「音の終わり」とが、それぞれ独立に検出される。これらは結びつくに適切な順に並んでおり、互いに近いので、知覚のうえで結びつき、音事象を形成する。さらに、空隙の直後の「音の始まり」と、短い音の末尾の「音の終わり」とが結びつき、もう一つの音事象を形成する。このように考えれば、二つの短い音の連なりの知覚されることが説明される。空

隙の前後の「音の終わり」、「音の始まり」はこのようにして一度解釈されたので、もう一度解釈される必要はなく、物理的に空隙を含む長い上昇音は、ほかに理由がなければつながったものとして知覚される。もっとも、空隙のところを下降音が通過しているために、そこに時間的な空白の明確な手がかりとなる無音区間が生じないということも、このような連続性の知覚に寄与しているであろう。また、上昇音の前半と後半との時間×周波数の座標における配置が、知覚のうえでの連続を形成するに適切であることも連続性の必要条件であろう (Ciocca & Bregman, 1987)。以上が「事象構築モデル」である。

このモデルはまだ骨組みだけの段階にあるが、ゲシュタルト原理の一つである「近接の原理」を、「音の始まり」と「音の終わり」とに関して限定的に用いることにより、なぜ物理的に連続した短い音が途中で切れていると知覚されるのかを定性的に説明し、さらに、その他のいくつかの聴覚現象に統一的な解釈を与える (Remijn & Nakajima, 2005; Nakajima et al., 2004)。このモデルを、聴覚体制化の一般的な枠組みの中に位置づける作業を現在進めており、合成音声にくみ合わせた刺激パターンを用いることによって、音声知覚との関連にまで考察の範囲を広げている (王・中島, 2004; Nakajima et al., 2004)。例えば、中国語の /yao/ という音節の「始まり」と「終わり」とを、物理的に異なる音によって示した場合にも、その「始まり」と「終わり」とが知覚のうえで結びつき、音節 /yao/ が母語話者に聴き取られる場合のあることを確かめている。

関連のある音刺激パターンや、他の錯覚現象などを私の研究室、研究チームのサイト (<http://www.design.kyushu-u.ac.jp/~ynhome/>) に載せているので、気軽にのぞいていただきたい。

謝 辞

貴重な機会を設けてくださった本田仁視先生、および、内容に関して議論してくださった伊藤裕之先生、上田和夫先生、黒田剛士氏に、感謝する。本稿を仕上げるにあたり、また、サイトの整備にあたり、科学研究補助金（平成 14～17 年度基盤研究 (S) 14101001、および平成 16～17 年度萌芽研究 16653067）の援助をいただいた。

文 献

Bregman, A. S. 1990 *Auditory scene analysis: The perceptual organization of sound*. Cambridge: MA, MIT Press.

- Ciocca, V., & Bregman, A. S. 1987 Perceived continuity of gliding and steady-state tones through interrupting noise. *Perception & Psychophysics*, **42**, 476-484.
- Halpern, L. 1977 The effect of harmonic ratio relationships on auditory stream segregation. Unpublished research report, McGill University, Psychology Department.
- Handel, S. 1989 *Listening: An introduction to the perception of auditory events*. Cambridge: MA, MIT Press.
- 中島祥好・佐々木隆之 1993 交差する周波数変化音における空隙の知覚について. 信学技報, SP92-146 (1993-03): 73-80.
- Nakajima, Y., Sasaki, T., Kanafuka, K., Miyamoto, A., Remijn, G., & ten Hoopen, G. 2000 Illusory recouplings of onsets and terminations of glide tone components. *Perception & Psychophysics*, **62**, 1413-1425.
- Nakajima, Y., Sasaki, T., Remijn, G. B., & Ueda, K. 2004 Perceptual organization of onsets and offsets of sounds. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, **23**, 345-349.
- 王 赫・中島祥好 2004 分離音現象による中国語音節の知覚について. 日本音響学会聴覚研究会資料, **34**, 553-556.
- Remijn, G. B., & Nakajima, Y. 2005 The perceptual integration of auditory stimulus edges: An illusory short tone in stimulus patterns consisting of two partly overlapping glides. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **31**, 183-192.
- Warren, R. M. 1999 *Auditory perception: A new analysis and synthesis*. Cambridge: UK, Cambridge University Press.