

公開講演1 (PL1)

錯聴から音声知覚のメカニズムを探る

柏野 牧夫 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所, 東京工業大学)
kashino.makio@lab.ntt.co.jp

1. はじめに

一般に、音の知覚内容は、耳に入ってくる音の物理特性とは多かれ少なかれ乖離している。この乖離の顕著なものが錯聴 (auditory illusion) と呼ばれる (Bregman, 1990; 柏野, 2010; 柏野, 2012; Warren, 2008; ウェブサイト「イリュージョンフォーラム」<http://www.kecl.ntt.co.jp/IllusionForum/index.html>)。錯聴は単なる情報処理のエラーではなく、日常の環境で適切に知覚する上で有用な適応的意義を持っていることが多い。錯聴の特性を系統的に分析することによって、聴覚情報処理の原理を推測することができる。また、錯聴における音の物理特性と知覚特性の乖離は、脳活動の計測とうまく組み合わせれば、知覚が脳内のどこでどのように形成されるのかを探索する上で有効な武器になる。

本稿では、特に音声知覚 (speech perception) に関わる錯聴を 2 タイプ取り上げ、そこから見えてくる脳内情報処理のメカニズムについて論じる。1 つめは、音響信号の劣化にもかかわらず元の発話内容が知覚される「知覚的修復 (perceptual restoration)」, 2 つめは、同一の音パターンが反復呈示されると知覚内容が次々と変化する「多義的知覚 (multistable perception)」である。このうち、錯聴を利用して音声知覚の脳内メカニズムに迫る研究の一例として、多義的知覚に関わる脳活動を分析した我々の研究を紹介する。そして、音声知覚の情報処理原理について、並列・階層的な予測符号化という観点から考察する。

2. 知覚的修復

音声知覚は音響信号の劣化に対して驚くほど頑健である。信号の劣化があたかも「修復」されたように知覚され、かなりの程度まで元の発話内容が聞き取れる。このような知覚的修復 (perceptual restoration) には様々なものがあるが、その代表例が音素修復 (phonemic restoration) である (Warren, 1970)。まず、文章を読み上げたものを録音し、その頭から 100 ~ 200 ms 程度の間隔ごとに音声を削除して無音にする (図 1a)。こうすると、発話内容が非常に聞き取りにくくなる。次に、音声を削除した部分に雑音を挿入する (図 1b)。雑音の周波数帯域は音声よりも広く、音圧レベルは音声よりも高くする。こうすると、雑音の背後で、削除されたはずの音声修復され、滑らかにつながって聞こえる。雑音があろうがなかろうが、同じ時間長の音声削除されたことに変わりはないが、聞こえ方は劇的に違う。雑音挿入されると、単に滑らかに聞こえるだけでなく、発話内容が聞き取りやすくなる。音素修復の効果は劇的で、最適な条件下では、どの音素が欠落しているのかわからないほどである。また、「本当は音声削除されている」という事実を知っていても、この錯聴を阻止することはできない。意識的に欠落部分を推測するのではなく、自動的に「聞こえてしまう」のである。

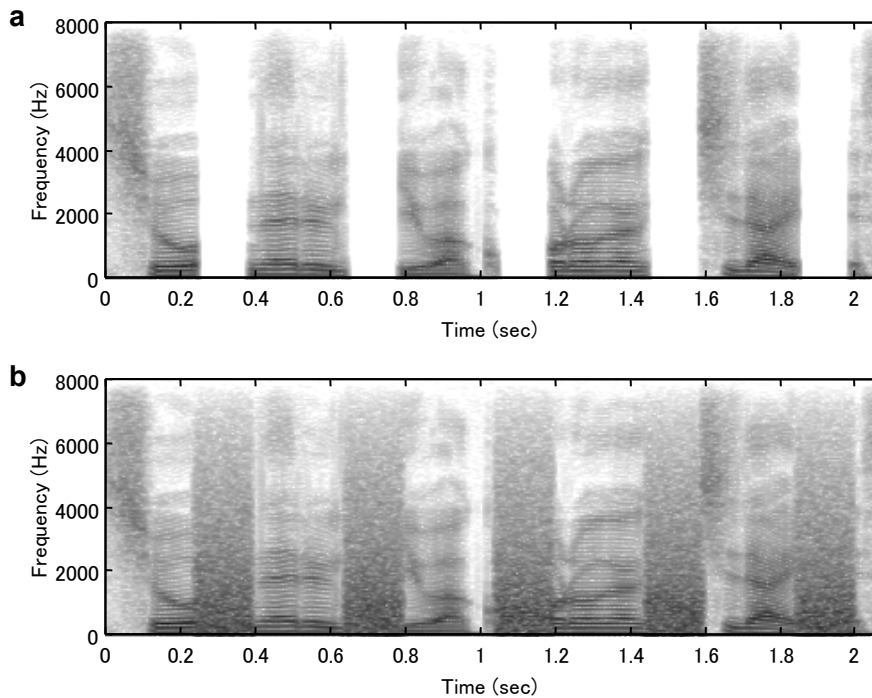


図 1: 音素修復. a: 省エネルギーは心がけ次第です」という言語音声を一時間ごとに削除(無音置換)したもの. 下段: 上段の無音置換の部分に雑音を挿入したもの. 縦軸は周波数, 横軸は時間, 濃いところはエネルギーが大きい部分を表す.

音素修復が生じるための音響的条件は、ひとことで言えば、「音声を削除した部分に挿入する雑音は、本来の音声があったとしても十分マスキングする（検知できなくする、隠す）ことができる特性を備えている」ということである。これを「マスキング可能性の法則」という。上記の例で、「雑音の周波数帯域は音声よりも広く、音圧レベルは音声よりも高くする」と述べたのは、雑音が音声をマスキングできるような特性を持たせるためである。別の言い方をすれば、音声は削除されている事実が検知されなければよいのである。したがって、音声と雑音の間に検知できるような時間的ギャップがある場合には、音素修復は妨げられる。

雑音で隠された方がよく聞こえるというのは、一見逆説的に思われるかもしれない。しかしこれは実は合理的である。ある人の話を聞いているときに、別の人が大きな咳をしたり、ドアをバタンと閉めたりして、音声の一部がマスキングされることは日常よくある。音素修復は、このように妨害音の多い環境で安定して音声を聞き取る上で大いに役立っている。脳は、マスキングされた部分に本来どのような音声があったかについての予測（仮説）を、その前後の情報から自動的に生成する。しかし、その部分にマスキングできるような雑音がなければ、「そこには音声がない」という明白な証拠になるので、「こういう音声があったはず」という予測は棄却される。したがって音素修復は生じない。そもそも修復が必要なのは、本来存在している音声は別の音でマスキングされた場合だけであって、

もともと切れている音声を補完する必要はない。この点、「隠された可能性があるときだけ補完する」というマスキング可能性の法則はきわめて理に適っている。

もう一点、音素修復の重要な示唆は、音素の知覚のための音響的特徴が、ある程度広い時間範囲に分散しているということである。信号削除の時間長や、その前後の音響信号を系統的に操作した実験によると、連続音声では各音素に関する情報が 200～300 ms 程度の時間範囲に、隣接音素の情報が重畳する形で分散しており、それらの情報を統合することによって音素修復が実現されている（柏野, 1992）。

3. 多義的知覚

音の物理特性と知覚との乖離を如実に示す現象として、物理的には同一の音の聞こえ方が状況によって変化するというカテゴリーのものがある。これを一般的に多義的知覚（multistable perception）という。複数の音声を混合したものを聞くと、注意の向け方によって異なった発話内容が知覚されるという選択的聴取も広い意味ではこのカテゴリーに分類できる。ここでは、同一の単語を反復すると知覚内容がどんどん変わっていくという現象を紹介する。まず、短い単語を録音する。例えば「バナナ」とやや早口で発声する。次に、それを切れ目なく反復再生する。すると、「バナナ」のはずが、「ナップ」になったり、「ハナ」になったり、さらには 2 人の声に分かれたり、機械的な音が聞こえてきたりといった具合に、人によって中身は様々であるが、多くの場合、数分間聞けば知覚の変化が体験できる。変化の回数には個人差がある上に、知覚される内容もバラエティに富む人もいれば、比較的少数の聞こえ方が交互に現れるという人もいる。この現象自体は古くから知られていて、反復単語変形効果（verbal transformation; VT）と呼ばれている（Warren & Gregory, 1958）。

視覚でも、同一のパターンを長時間見続けているといくつかの見え方が切り替わる多義的知覚の現象が各種知られている。VT は、それらと共通点も相違点もある。「バナナ」を反復すると、「ナバナ」、「ナナバ」、さらには「バナ」「バナナバ」など音節のまとまり方に多義性ができる。このような多義性の中からある時点で一つを選んで知覚するという意味では視覚の例と共通であるが、視覚の例が空間的なパターンの解釈に関わる（動きを伴うパターンであっても時間的構造を持たない）ものであるのに対し、VTの方は時間的なパターンに関わる選択が本質的である。実際には、VTで知覚される内容は単に元の発声に含まれる音素の組み替えだけでなく、もともと含まれていない音素（「ハナ」とか「ナンバ」など）が聞こえることも珍しくない。音声を聞き取る際には、連続して発声された音声を音素、音節、単語などのまとまりに区切る時間的分節のプロセスと、分節されたパターンを脳内に蓄えられた言語的模式と照合するプロセスとが不可欠であるが、VTは、これらのプロセスが特殊な人工的音声に対して作動したものと考えることができる。日常環境でも、発声が不明瞭であったり別の音で妨害されたりすれば、音声に含まれる情報が不十分で唯一の解釈に絞りきれないことがある。そういう場合、複数の解釈が「知覚の座」をめぐって競合するのである。

4. 錯聴を生み出す神経ネットワーク

錯聴は、知覚情報処理の脳内メカニズムを解明する上で貴重な情報源となる。今世紀に入って脳の非侵襲計測が急速に発展し、音声知覚時の脳活動を観察することが広く行われるようになった。しかし、「知覚そのもの」に対応する脳活動を捉えるのはさほど簡単ではない。仮に、音声信号 A に対して知覚 P が、音声信号 B に対して知覚 Q が生じるとしよう。音声信号 A と B とを聴取している時の脳活動がそれぞれ X, Y だったとしても、それは音声信号の物理特性 (A, B) を反映したものか、それとも知覚内容 (P, Q) を反映したものか区別できない。一方、知覚的修復のように、物理的に異なる音声 A と A' では知覚 P が生じ、音声 B と B' では知覚 Q が生じるとき、観察された脳活動が音声 A と A' に対しては X、音声 B と B' に対しては Y であれば、その脳活動は知覚内容 (P, Q) を反映したものである可能性が高い。また、多義的知覚のように、同一の音声 A に対して知覚が P から P' へと変化する場合、脳活動がそれに伴って X, X' と変化するならば、その脳活動は物理特性ではなく知覚内容を反映したものである可能性が高い。つまり、錯聴における物理特性と知覚内容の乖離は、知覚の形成に関連する脳活動を特定する上で重要な手がかりとなるのである。

ここでは、VT を素材として、fMRI による脳機能計測を行った我々の研究を紹介する (Kondo & Kashino, 2007; Kashino & Kondo, 2012)。実験では、同一の単語（「バナナ」）を切れ目なく反復呈示し、知覚内容が変化したという聴取者の報告（ボタン押し）に同期した脳活動を検出した。その結果、脳内のいくつかの部位で有意な活動変化が認められた（ボタン押しに伴う運動成分は取り除いてある）(図 2)。

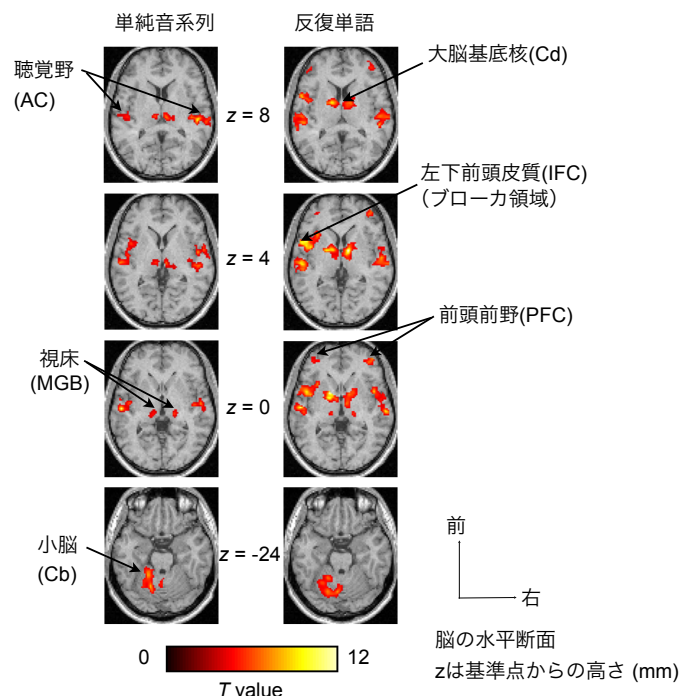


図 2: 単純な音系列(左)と反復単語(右)に対する知覚交替に同期した脳活動(各条件 12 人)。T value が大きいほど、その部位の知覚交替に伴う信号変化が顕著なことを示す。

まず、視床の内側膝状体 (MGB)、左後部島皮質 (PIC)、聴覚野 (AC) を結ぶネットワークは、単純な音系列の多義的知覚を対象とした別実験 (Kondo & Kashino, 2009) と共通に活動しており、基本的な音のグルーピングに関与していることが示唆された。

VT の実験のみで活動が見られたものに、左下前頭皮質 (IFC)、前頭前野 (PFC)、前部帯状皮質 (ACC)、大脳基底核の尾状核 (Cd) があった。このうち、IFC の活動変化量は聴取者ごとの知覚交替の頻度と正の相関が見られた。一方、ACC の活動変化量は知覚交替の頻度と負の相関が見られた。知覚変化にとって、IFC がアクセル、ACC がブレーキの役割を果たしており、知覚交替の頻度は両者のバランスで決まるようである。IFC はいわゆるブローカ領域に相当し、特に弁蓋部は調音運動に関係する領域でもあるので、知覚の生成に調音運動のプロセスが関与するという「音声知覚の運動理論」(Lieberman, et al., 1967) と親和性が高い。音声の処理機構として最近有力視されている「二重経路モデル」(Hickok & Poeppel, 2007; Specht, 2014) では、聴覚野から上側頭溝、中・下側頭回後部を経て左 IFC 三角部に至る腹側経路は意味理解を司り、聴覚野から左頭頂側頭接合部を経て左運動前野、左 IFC 弁蓋部に至る背側経路は聴覚情報から運動情報への変換を司るとされる。VT で見られた活動は、この背側経路とも符合し、音声知覚への運動系の関与を示唆している。

さらに、VT の知覚交替に同期して Cd と MGB が連動しており、両者の運動性の強さは知覚交替の頻度が高い人ほど強いこともわかった。Cd は身体運動のタイミング制御、比較的長い時間スケールの複雑な時間構造の処理などに関与することが知られている (Zatorre, et al., 2007)。このネットワークは、音声の時間的分節に関与している可能性がある。

以上のように、VT における知覚の生成と選択には、脳内に広範に分散したいくつかの部位を結ぶネットワークが関与していることが示された。

5. 音声知覚の処理原理

音声知覚が脳内でどのように実現されているかを考える上で避けて通れない問題には次のようなものがある。(1)連続発声された音響信号が、いかにして離散的な言語的単位 (音素など) へと分節化されるか、(2)音素環境や話速など、発声時の様々な変動要因の影響を受けた音響信号からいかに言語的単位が復号化されるか、(3)妨害音や伝送歪みなど、様々な外来変動要因に対して、いかに頑健な知覚を実現するか。これらの問題に対して、錯聴の特性分析や脳機能計測から重要なヒントが得られる。

知覚的修復、多義的知覚の両者とも、音声知覚が極めて能動的なプロセスであることを物語っている。耳に入力される音響信号は発話内容に関して完全な情報を与えるとは限らないが、ある程度の時間範囲に分散した特徴を統合することによって安定した知覚が実現されている。日常場面では、統合される情報は音響的なものに限らず、調音動作の映像のような視覚的なものや、文の構文や意味、その場の状況など、多様な情報が含まれる。

能動的な処理を説明する一つの有力な枠組みは、予測符号化 (predictive coding) という考え方である。感覚器に与えられる情報と、脳内に蓄えられた知識から、発話内容に関する予測 (仮説) が生成される。その予測が、入力されてくる感覚情報と照合され、矛盾 (予

測誤差) が少なければ予測が知覚として採用される。ある程度以上予測誤差が大きければ、その予測が棄却され、別の予測が生成される。このようなトップダウンの予測とボトムアップの感覚情報との照合が並列的、階層的に行われるという見方は、錯聴をはじめ、音声知覚の様々な側面をうまく説明することができる。

予測の一部は、調音運動の内部モデルから生成される可能性がある。この考え方の原型は運動理論として約半世紀前に提案されているが、今日なお議論が続いている。二重経路モデルにおける背側経路の役割も、音声知覚に必須なものであるか否か、決着がついていない。これらの点に関しては今後さらに検討が必要であろう。一つの可能性として、音声信号が劣化しているほど、運動系からの予測の貢献が大きくなると予想できる。

音声知覚の処理原理や神経メカニズムの探求は、この10年で飛躍的に進んでいる。その中で、錯聴現象は切れ味の鋭い道具を提供してきたし、今後もそうであろう。

参考文献

- Bregman, A.S. (1990) *Auditory scene analysis: The perceptual organization of sound*. Cambridge: MIT Press, 1990.
- Hickok, G., Poeppel, D. (2007) The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neuroscience*. 8:393-402.
- 柏野牧夫 (1992) 「閉鎖区間の前後に分散する手がかりに基づく日本語語中閉鎖子音の知覚」『日本音響学会誌』48(2):76-86.
- 柏野牧夫 (2010) 『音のイリュージョン—知覚を生み出す脳の戦略』岩波科学ライブラリー 168, 東京: 岩波書店.
- 柏野牧夫 (2012) 『空耳の科学—だまされる耳, 聞き分ける脳』東京: ヤマハミュージックメディア.
- Kashino, M., Kondo, H.M. (2012) Functional brain networks underlying perceptual switching: auditory streaming and verbal transformations. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 367(1591):977-987.
- Kondo, H.M., Kashino, M. (2007) Neural mechanisms of auditory awareness underlying verbal transformations. *Neuroimage*. 36(1):123-130.
- Kondo, H.M., Kashino, M. (2009) Involvement of the thalamocortical loop in the spontaneous switching of percepts in auditory streaming. *The Journal of Neuroscience*. 29:12695-12701.
- Lieberman, A.M., Cooper, F.S., et al. (1967) Perception of the speech code. *Psychological Review*. 74(6):431-461.
- Specht, K. (2014) Neuronal basis of speech comprehension. *Hearing Research*. 307: 121-135.
- Warren, R.M. (2008) *Auditory perception: An analysis and synthesis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Zatorre, R.J., Chen, J.L., Penhune, V.B. (2007) When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*. 8:547-558.

公開講演2(PL2)

乳幼児における聴知覚の発達

出口 利定（東京学芸大学）

1. はじめに

乳児は始語が出現する以前の生後1年間に、音声知覚能力の著しい発達を遂げることが知られている。この場合の発達とは、単に音響刺激に対する聴覚末梢系の分析能力の向上という意味でなく、音声を言語として処理する過程である。したがって、乳幼児における音声知覚研究は、言語獲得に過程における音声言語知覚能力の生得的特性と、その知覚特性が母語環境の影響のもとでどのように母語に特異的に適合/発達していくかを解明するうえで重要である。

1970年代後半からの乳児の音声知覚に関する実験的研究から、多くの興味深い知見が得られている。当初は、音韻弁別能力に関する研究が行われ、それらの成果から、乳児は早期には、その母語にかかわらず、世界中の言語に存在するほぼ全ての音韻（有限ではある）を聴覚的に弁別する能力を有し、そのユニバーサルな音韻知覚能力は、月例が高くなるにつれ、母語特有の音韻体系に規定された、より成人に近い知覚特性を示すようになることが明らかになった。

そしてそのユニバーサルな知覚特性から母語の影響を受けた知覚特性への変化の時期は、母音知覚に関しては、生後6ヶ月前後、子音知覚に関しては生後10ヶ月前後を境に、母語には存在しない非母語の音韻対立の弁別能力は低下する。すなわち、母語の音韻体系のカテゴリーへの同化能力の発達を意味し、音声処理がより母語に適合してきたことを示すと考えられる。

また、乳児は音韻レベルの違いよりも、むしろ音声の韻律的な情報に、かなり早期から注意を向けていることが知られている。従来より、音声言語における韻律の変化は話者の感性情報を伝えるのみでなく、発話の意味的・統語的な分節位置を示す手がかりとなることが知られている。このような観点から、乳児における韻律情報の知覚能力の発達と、節、句、単語などの音声の構造単位のセグメンテーション能力との関連が精力的に研究されている。

乳幼児の音声知覚の発達を明らかにするためには、乳幼児の音声刺激に対する身体的な反応・行動を指標として研究が進められてきた。知覚機構の発達・変化の背景には、音声処理に対する神経回路の発達・再構成の関与が考えられることから、音声獲得、言語獲得の研究においても近年では脳活動の計測技術の飛躍的な進歩により、脳科学的研究が多くなり新しい知見が得られている。そういう時代的な背景にあっても、音声知覚研究における乳幼児の行動を指標とした研究の重要性、困難性、楽しさ？について、既に報告済のややノスタルジックな発表である。なお、紹介する研究は、桐谷滋（東京大学）、林安紀子、加藤ふみ（東京学芸大学）との共同研究である。

2. 吸啜行動を指標とした母語-非母語の韻律情報の識別

乳児の吸啜行動を指標とした知覚実験は多くあるが、吸啜そのものの性質、特性、乳児の状態（月齢、空腹度、母乳・人工乳・混合、覚醒度等）との関係は明らかではなく、最適な吸啜行動を得るための条件を決定することが重要である。図1に、吸啜行動が始まってから終了（入眠）までの吸啜行動の実際の状態を示す。

吸啜区間と休止区間が交互に出現し、リズムカルな運動を示している。この吸啜区間と休止区間が交互に出現する、つまり吸啜区間のみが最後まで連続することはなく、この現象は他の霊長類にはみられずヒト特有であるという指摘は、母子コミュニケーション上、非常に興味深い。

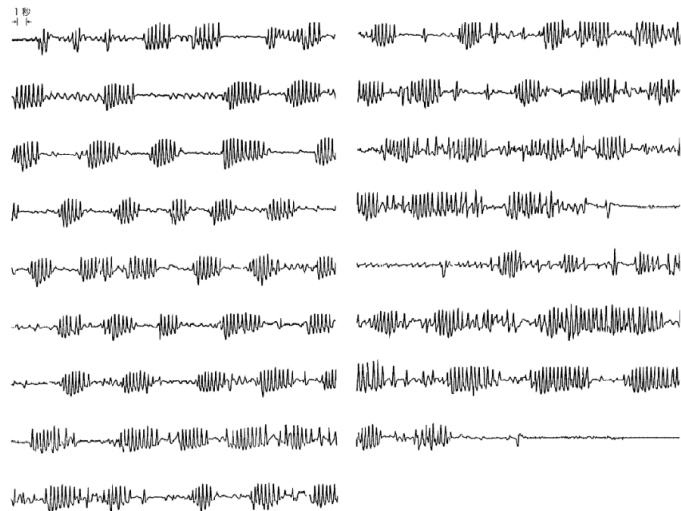


図1. 生後23日の乳児の吸啜

図2に、母語（日本語）と非母語（英語）に対する吸啜回数の変化（平均）を示す。

まず日本語：J（英語：E）を聞かせながら吸啜開始から最初の1分間の吸啜回数をベースラインとし、1分毎の吸啜回数が25%以上、2回連続して観測されたら慣化とみなし、音声刺激を英語：E（日本語：J）に切り替えた。日本語から英語（J→E）、英語から日本語（E→J）ともに刺激変換後に吸啜回数の上昇がみられた。乳児が言語刺激の変化を弁別し、かつ母語に対して親密性を持っている、あるいは母語に新奇性を強めるものがあるのではないかと推測される。

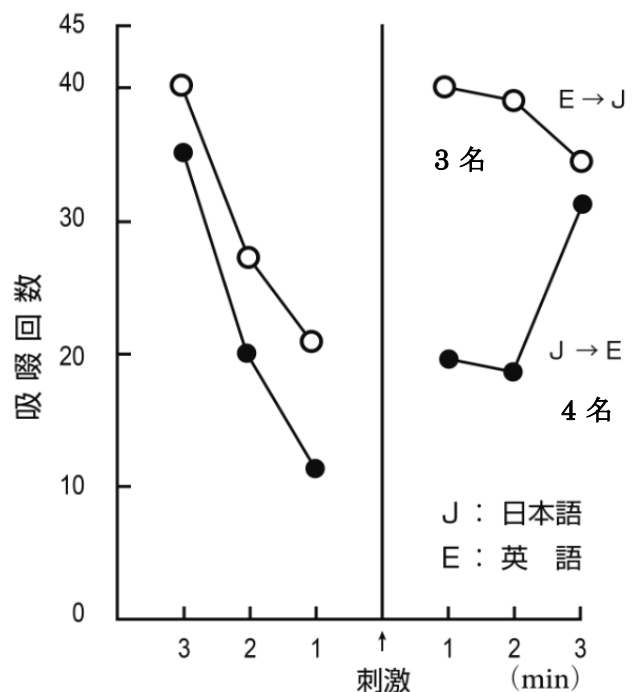


図2. 母語・非母語への変化による吸啜回数の変動

3. 母音知覚における正規化能力の発達

図3は、成人男性、成人女性、子どもによって発声された日本語5母音の第1ホルマント、第2ホルマントの平均的な分布を示すよく知られた図である(千葉、1990)。五角形はほぼ相似形を保っているものの位置が異なっている。ホルマント周波数の一様な移動は、計算機モデルで言えば声帯から唇までの長さ、即ち声道長に比例する。

基本周波数、ホルマント周波数は異なっても、同一の母音として知覚しているこの現象は、音声知覚の恒常性、あるいは声道長の正規化と呼ばれ、音声知覚にとっては非常に重要である。

この正規化能力について、幼児・乳児の母音知覚についても成人同様に正規化の過程が作用しているかについて、発達的な観点から検討した。

刺激母音は成人男性、成人女性、子どもを含む多数話者の自発発声サンプルから求めたパラメータを主として用い(Fujisaki,1968)、F1、F2周波数を連続的に変化させ、/o/から/a/へ推移する/o-a/系列11音と、/u/から/e/へ推移する/u-e/系列13音の2系列である。また、各系列に対して、2種類の基本周波数100Hz,220Hzを設定した(図4)。

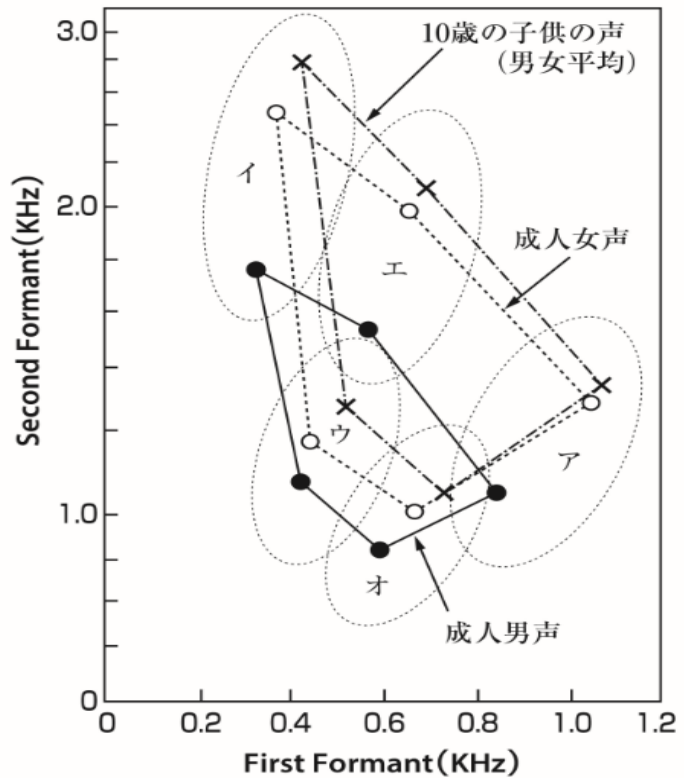


図3. 成人男性・女性、子どもの母音発声における F1,F2 の位置

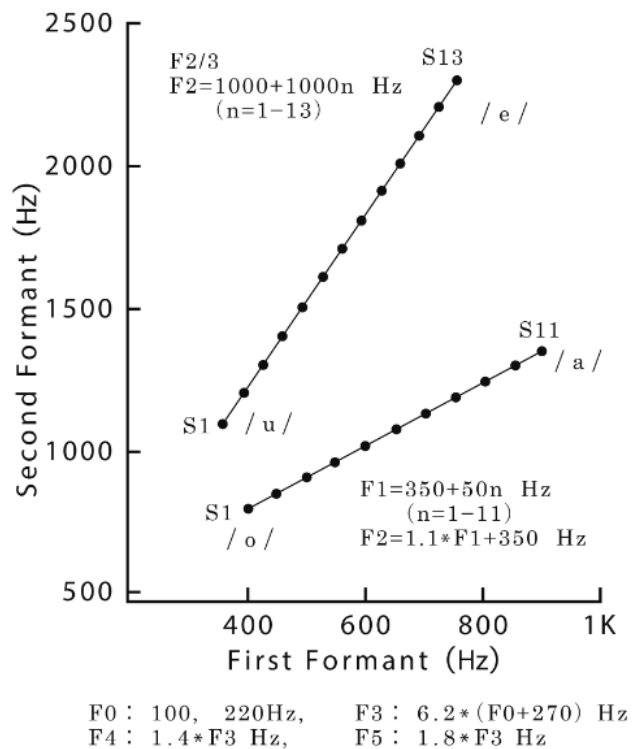


図4. 刺激音

図5は成人12名、3歳児5名の/u-e/系列における聴取結果である。横軸は図4の刺激音番号に対応し、各刺激音に対して/e/と判断した割合を示した。

被験者ごとに各系列における識別カーブから/e/あるいは/u/と判断した割合の推移を最尤法によって正規分布として近似し、平均値と標準偏差を求め、平均値は判断境界の刺激音番号を、標準偏差は判断の精度を示すものとした。

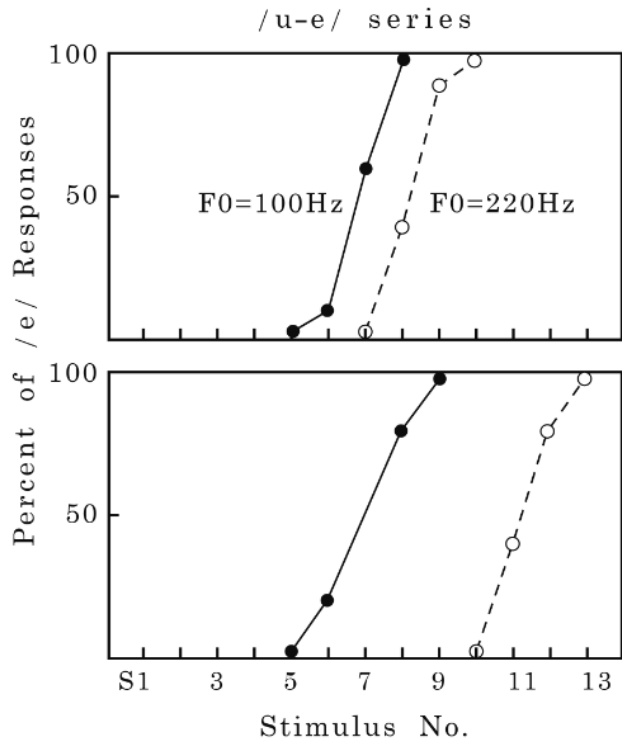


図5. 成人(上)、3歳児(下)の聴取例

図6に/u-e/系列、/o-a/系列における判断境界を示す刺激音番号の平均と範囲を、被験者グループ毎に基本周波数別に示した。

基本周波数の変化に伴う判断境界の移行量は、いずれの系列も幼児の方が成人よりも多い傾向にあった。

幼児は成人に比較して、母音知覚において基本周波数および高次ホルマント周波数の変動による影響を受け易いことが示された。

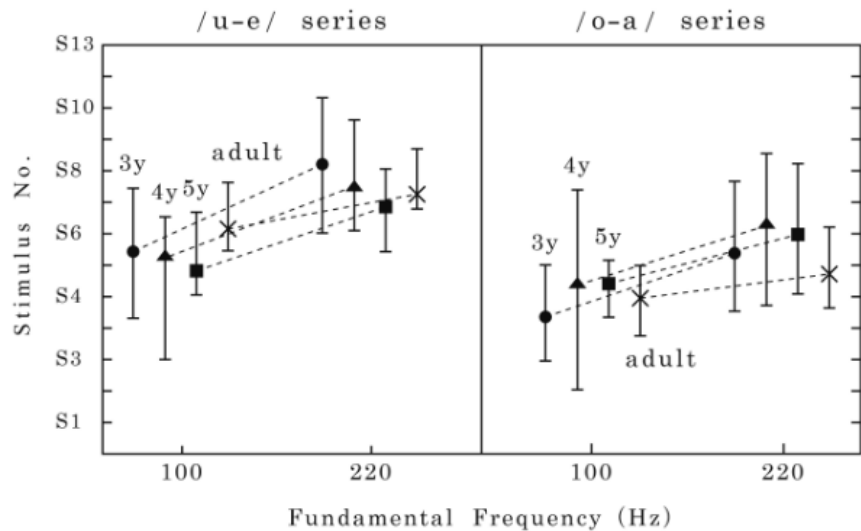


図6. 基本周波数毎の判断境界の平均と判断境界の移行量

4. 乳児における正規化能力

月齢が5か月から7か月までの乳児5名を対象に、乳児を対象とした音声知覚の手法として多く採用されている head-turn 法を用いて、/o-a/系列について母音聴取における正規化能力を調べた。

head-turn 法の概略は、一定間隔で、ある同一の刺激音あるいは同一カテゴリ内の刺激音のセットを提示し続け (background 刺激)、時に新奇刺激 (comparison 刺激) を提示する状況で新奇刺激の出現に気付いたときのみ音源を振り向く反応 (head-turn)、および background 刺激には振り向かない反応を、まずは予備練習によって乳児に習得させる。この head-turn 反応の生起率を、1対の刺激音 (または刺激セット) の弁別判断の指標とする方法である。この方法は、生後約5か月から約8ヶ月までと、適用月齢が限られてはいるが、head-turn 反応を乳児が獲得すれば、統制群の必要がなく、個人内データで音声知覚について議論できることが最大の長所である。しかしながら head-turn 反応の獲得には熟達したテクニックを必要とすることから、多くの時間を要し、乳児の扱いに慣れた実験助手の育成も必要である。

予備練習の段階 (training phase) では、background 刺激 (S11: 典型的な /a/) に対しては head-turn はせず、comparison 刺激 (S1: 典型的な /o/) に対してのみ head-turn するという反応を確実に獲得させる (図7)。その際、正しい反応に対しては、視覚・聴覚的報酬としてブラックボックス内の玩具に照明を当て作動させた (図8)。本実験 (experimental phase) では、comparison 刺激として S1 から S10 の刺激音 (intermediate vowel) を提示した。

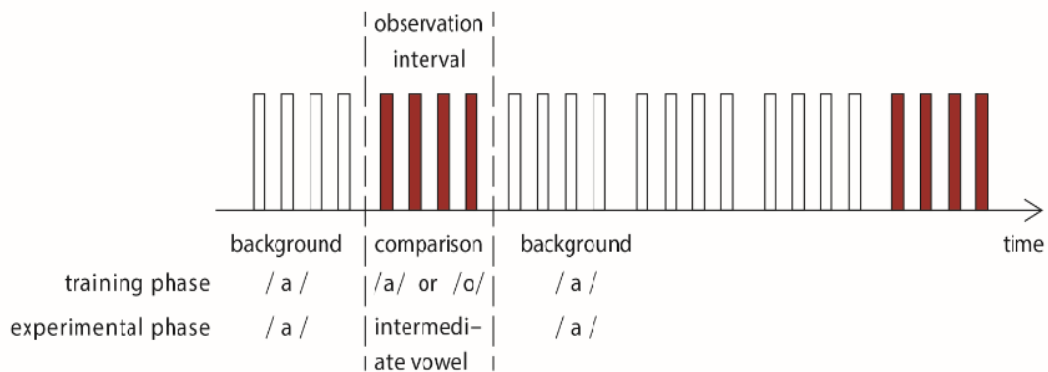


図7. Head-turn 法における刺激音の提示

experimental phase では、comparison 刺激として S1 から S10 をそれぞれ 5 回提示し、head-turn 生起率を求め弁別判断曲線を得た (図 9)。

background 刺激から音響的に離れた comparison 刺激ほど head-turn 反応が増加し、基本周波数及び高次ホルマント周波数の影響を受けて弁別判断境界が移行することが判った (図 10)。

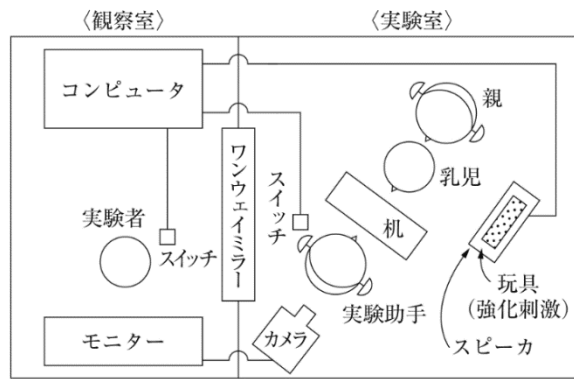


図 8. 実験室の配置

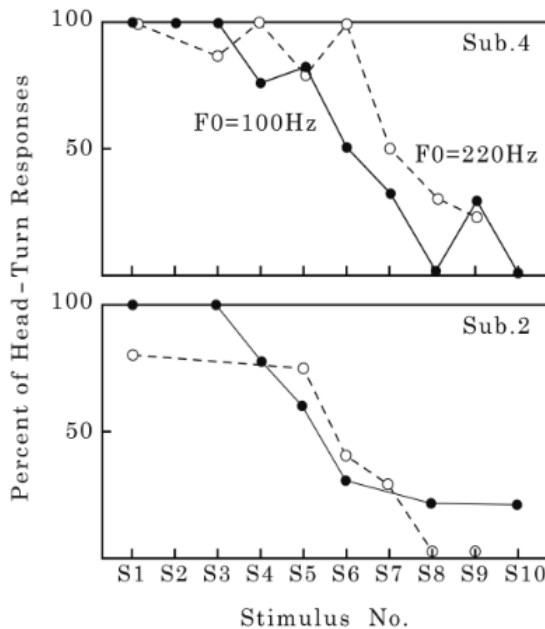


図 9. Head-turn 反応による乳児の弁別曲線例

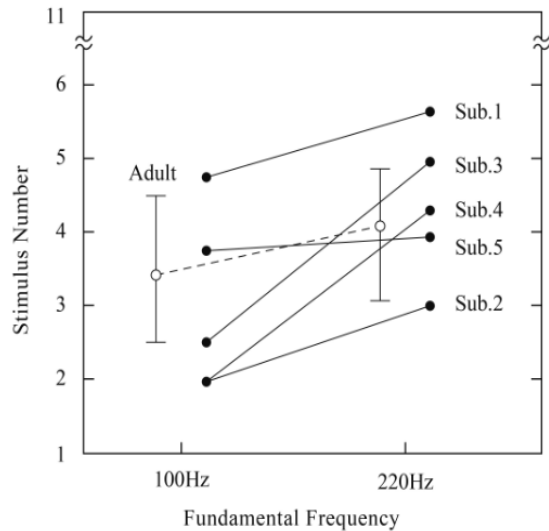


図 10. 乳児 5 名の基本周波数毎の判断境界の平均と判断境界の移行量

吸啜反応 (行動)、head-turn 法を用いた、乳幼児の母音知覚実験について述べたが、特に乳児を対象とした音声知覚実験手法については、より洗練された手法の開発が必要である。また得られた知見を裏付ける脳科学的な解明が望まれる。いかにしてヒトは言語を獲得していくのか? 身近にいるボンヤリした我が孫でも、いざ言語獲得という観点から眺めると神々しくみえ、その計算過程を教えてくださいと言いたくなる。