

触覚の質的情報を考慮したタクトイルボコーダの基礎的研究

和田 親宗 伊福部 達 泉 隆
北海道大学電子科学研究所

音声を触覚の質的な情報に変換して呈示するタクトイルボコーダを提案し、どのような物体に触れたときにどのような子音が想起されるかを調べた。また、触感の内「ざらざら感」「ぬるぬる感」に限定して、それらの知覚に関する刺激閾を求めた。その結果、物体表面の摩擦抵抗や粘性が小さいときには無声子音を、大きいときには有声子音を想起しやすい。また、摩擦抵抗が小さいときには主に摩擦子音 (/s/ など) を、粘性が大きいときには主に鼻子音 (/n/ など) を想起しやすいことなどがわかった。サンドペーパーに触れたときに「ざらざら」とやっとな知覚される表面粗さは平均粒子径で $30\mu\text{m}$ であること、スライムに触れたときに最も「ぬるぬる」と知覚される粘度は $17\text{dPa}\cdot\text{s}$ 前後であることが推測された。

以上から、「ざらざら感」や「ぬるぬる感」を自動呈示することにより、摩擦音や鼻子音などを識別させるための基礎的知見が得られた。

A basic study of a tactile vocoder using touch sensations imagined by quality of materials

Chikamune WADA, Tohru IFUKUBE, and Takashi IZUMI
Research Institute for Electronic Science, HOKKAIDO University

We have been studying how to display the information of speech sounds to the tactile sense of deaf people. Firstly, what kind of consonants can be imagined was investigated when we touch a surface of materials which are smooth, rough, sticky and so on. From the experimental results, most of imagined consonants were the voiced as the friction or the viscosity between a finger surface and the material increases. Fricatives or nasals were imagined when the material has rough or sticky surface, respectively. Next, we determined the boundary between the feeling of roughness and smoothness by touching various sandpapers, and investigated which Slime was felt as the stickiest material. From the experimental results, the surface of the sandpaper was felt rough when a mean diameter of the grains on the sandpaper was greater than $30\mu\text{m}$. The surface of Slime was felt sticky when the viscosity is about $17\text{dPa}\cdot\text{s}$.

It was supposed that fricatives or nasals might be easily perceived by withdrawing the feeling of roughness or stickiness while using the tactile vocoder.

1. はじめに

聴覚障害者のコミュニケーションを補助するための感覚代行装置にはタクタイルボコーダや、聴神経を電気刺激して音声情報を伝達しようとする人工内耳などがある。タクタイルボコーダとは、音声のホルマントやピッチの情報を振動の強弱もしくは電気刺激に変換して皮膚の触覚を介してヒトに呈示する装置の総称である。

我々が以前開発したタクタイルボコーダは音声スペクトルを振動パターンに変換し人差し指の腹に呈示するものであった。この装置を読話と併用することにより子音識別改善に効果があることを確認している。しかし、振動パターンだけでは識別困難な子音が存在することも事実であり、その限界も次第にわかってきた。そのため子音識別をより容易にするために子音を振動パターンだけではなく触覚の質的な違いで呈示する方法を検討してきた¹⁾。

ところで、「ざらざら」「ぬるぬる」のような日本語の触感を表わす形容詞は特定の単音節や子音と結びついている可能性がある。したがって、ある物体を触ったときにある形容詞が想起されるのであれば、特定の触感を生じさせることにより特定の子音を想起させることができるのではないかと推測した。

このような観点から、我々はタクタイルボコーダにいろいろな触感を惹起させることができるような刺激呈示方式を提案している。今回は基礎実験として、まず、ある物体に触れたときに想起される特定の単音節あるいは子音について調べ、物体のどのような物理的性質が音声と関連しているのかを考察した。また、

触感の内「ざらざら感」「ぬるぬる感」に関する刺激閾を求め、それらの触感でどのような子音を呈示できるかを考察した。

2. 触れる物体の名称と想起される子音との関係

2. 1 実験方法

「ざらざら」のような触感を表わす形容詞を被験者に呈示してその形容詞から単音節や子音を連想させた場合、形容詞を構成している単音節「ざ」や「ら」もしくは子音/z/や/r/を記述する恐れがある。そのため、今回の実験ではある触感を持つ物体に触れた場合にどのような単音節もしくは子音を連想するかを応答させた。

呈示した物体の名称は12種類、被験者は19～52才の男女121名である。回答方法は、連想される単音節もしくは子音を1個以上思いつくだけあらかじめ決めておいた中から選択させた。子音は/k/,/s/,/t/,/n/,/h/,/m/,/y/,/r/,/w/,/g/,/z/,/d/,/b/,/p/の14種類の中から、単音節は14個の子音で作られるものと子音のない5母音の計67個の中から選択させた。

2. 2 結果と考察

結果を図1から図3に示す。縦軸には調べたい触感を持つ物体の名称を、横軸には回答された単音節もしくは子音の数をパーセントで示している。この場合、単音節で回答したものは全てその単音節に含まれる子音部で合計した。

図1には回答された子音を有声か無声かでわけて示している。なお、5母音は有声子音に含めた。図2には子音/s/および/n/が想起された割合を示す。図3には、濁点

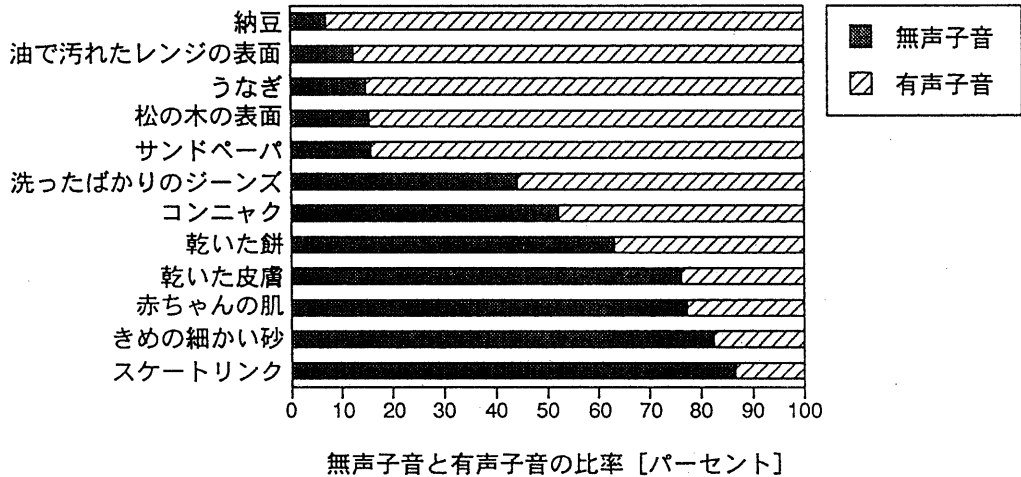


図1 接触物体の名称と想起される無声・有声子音の比率

がつく有声子音/g/,/z/,/d/,/b/とそれ以外の有声子音との比率を示している。

図1から物体を触った時の触感を想像することによって物体によってはほぼ無声子音だけ、あるいはほぼ有声子音だけが想起されることがわかる。例えば「スケートリンク」、「きめの細かい砂」、「赤ちゃんの肌」および「乾いた皮膚」のような指先と物体との摩擦抵抗や粘性が小さい物体を触った場合には無声子音を想起しやすいことが推測される。それに対して「納豆」、「油で汚れたレンジ」、「うなぎ」および「サンドペーパー」の表面を触った場合のように摩擦抵抗や粘性が比較的大きい場合には有声子音を想起しやすい。

図2より「スケートリンク」、「赤ちゃんの肌」、「きめの細かい砂」および「乾いた皮膚」に触れた場合には子音/s/を想起しやすい。これはおそらくこれらの物体に触れた場合、これらの物体を「すべすべしている」「さらさらしてい

る」と知覚されるためこれらの形容詞に含まれる子音/s/が連想されたと考えられる。なおスケートリンクと赤ちゃんの肌で/s/が少ないのは表面が「つつつしている」ために /t/という回答が、また、「乾いた皮膚」で/s/が少ないのは表面が「かさかさしている」ために/k/という回答があったためである。

また、子音/n/について見ると、「納豆」、「油で汚れたレンジの表面」、「うなぎ」および「コンニャク」に触れた場合に/n/を想起しやすい。これらの物体が「ぬるぬるしている」「ねばねばしている」と感じるために/n/を連想したためであろう。特に他の3つに比べて「油で汚れたレンジの表面」で/n/が少ないことから、/n/を想起させるには粘性の高いものでしかも手にくっつかないものを呈示すれば良いことがわかる。

いずれにしても、物体に触れたときに想起される形容詞を構成している子音を選択するようである。

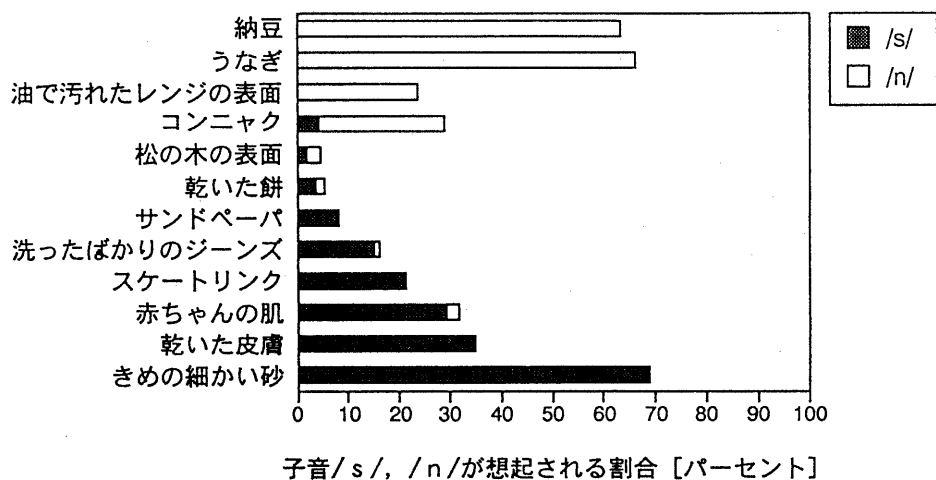


図2 接触物体の名称と子音/s/, /n/が想起される割合

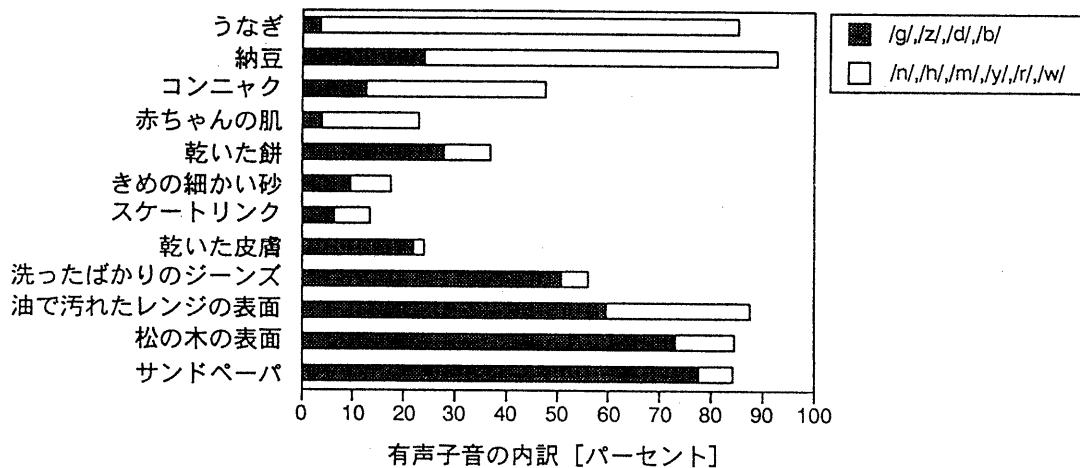


図3 接触物体の名称と想起される有声子音の種類

図3より、/g/, /z/, /d/, /b/の単音節を作った場合に濁点がつく有声子音は「油で汚れたレンジの表面」、「松の木の表面」及び「サンドペーパー」で比率が高い。図1よ

り有声子音は指先と物体との摩擦抵抗や粘性抵抗が大きい場合に想起されると考えられるが、図3の結果から考えるとこのような物体に触る際に何らかの音がする

場合に/g/,/z/,/d/,/b/を想起するものと推測される。

以上から、タクタイルボコーダの刺激呈示部と指との摩擦抵抗や粘性を制御することにより有声・無声の識別や摩擦音/s/や鼻音/n/の抽出が容易になることが予想される。

3. 表面粗さや粘度の違いによって想起される「ざらざら感」と「ぬるぬる感」の評価

タクタイルボコーダに触覚の質的情報を呈示して特定の子音を想起させるためには、接触表面の摩擦抵抗や粘性を制御する必要がでてくる。その基礎実験として今回は摩擦抵抗のある物体を触った場合に「ざらざら」と知覚されるとき表面粗さの閾値、および、表面がどの程度の粘度を持っている場合に「ぬるぬる」と知覚されるかを調べた。

3. 1 「ざらざら」と知覚されるとき表面粗さの測定

実験では、いろいろな表面粗さを持つサンドペーパーを被験者の手指に呈示し、その表面を触ったときに「ざらざら」とあると知覚されるとき表面粗さを求めた。

用いたサンドペーパーの粗さは#120から#2000のもの10種類で、大きさは15×40 mm。指を動かす速度や圧力を決めずに被験者に自由に指を動かしてもらった。また、指を前後方向に動かした場合と左右方向に動かした場合の2通りで実験を行った。なお、サンドペーパーの表面の色も判断に影響を及ぼす可能性があったので被験者が自分の指先を見ることができないよう衝立を立てた。指の移動速度

を求めるために実験中の指の動きをビデオで録画した。

被験者は23～28才の男性7名で、各自の好きな方の手の人差し指でサンドペーパーを触らせた。10種類のサンドペーパーを各5回ずつ計50回ランダムな順番で呈示し「ざらざらである」か「ざらざらでない」かを応答させた。

3. 2 実験結果

「ざらざらである」と応答した場合には得点1を、「ざらざらでない」と応答した場合には得点0を与え、7名の結果を合計してパーセントでグラフ(図4)にした。図4の横軸にはサンドペーパーの微粉の累積高さ50パーセント点の粒子径を対数目盛りでとっている²⁾。凡例の白ぬき四角は指を左右に動かした場合、黒塗り三角は前後に動かした場合の結果を示している。

この図から「ざらざら」の閾値は粒子径が30 μ mの時であること、また、指を左右に動かした場合と前後に動かした場合とで「ざらざら」の閾値に差がみられないことがわかる。

また、ビデオで録画した指の動きから求めた指の移動速度の値は被験者によって様々であった。指を左右に動かした場合は約50～160 mm/sec、前後に動かした場合は約17～100 mm/secであり、前後の方が左右より指を動かす速度が小さいという傾向が得られた。なお、実験中被験者はサンドペーパーの粗さに関わりなくほぼ一定速度で指を動かしていた。

3. 3 考察

図4から粒子径が100 μ m以上のサンドペーパーを用いることによって「ざらざらである」という質的情報が呈示できると

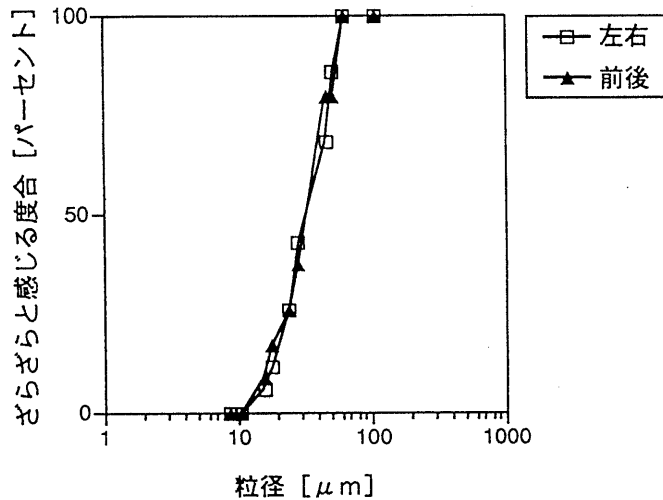


図4 サンドペーパーの粒径とざらざら感

いえる。この「ざらざらである」ことが呈示できれば先ほど述べたように子音が有声であることや濁点のつく単音節であるという識別の手がかりを与えられる。

指の運動方向で移動速度が異なり前後方向の移動速度が小さいのは、指紋の凹凸によって微細な表面粗さが捉えにくくなっている可能性がある。左右方向の移動速度が大きいことから左右方向に刺激をスweepするように呈示できれば、前後方向に呈示するよりは速い速度で「ざらざら感」を知覚させることができる。

また、サンドペーパーの粗さに関係なく指をほぼ一定の速度で動かしていたという結果は、硬さの知覚実験において指を物体に押し込む際に、被験者は指の押し込み速度をほぼ一定にするという飯田らの実験結果³⁾と類似した傾向である。

タクトイルボコーダの呈示部としてサンドペーパーを用いることは実際には不可能である。サンドペーパーには様々な粒子径のものが不規則に配置されているので

「ざらざらである」ように感じるであろう。この不規則な凹凸パターンを自動発生できる装置を作ることが今後の課題の一つである。

4. 「ぬるぬる」と知覚されるとき粘度の測定

4. 1 実験方法

実験では、被験者にスライムを触らせ「ぬるぬる」と知覚されたときのスライムの粘度との関係を調べた。ここで、スライムとはポリビニルアルコールとほう砂（四ほう酸ナトリウム）の混合によって作成される無色透明無臭で粘性のある物質である。このスライムを35×65 mmの角型ケースに5 mmの深さで納めた。

多くの粘度のレベルを作ることが困難であったので、今回は、「ぬるぬる」と知覚される粘度閾値を精確に求めることができなかった。そのため、被験者にはまず全ての粘度（5種類）のものを触れさせ2回目に触れさせたときに「ぬるぬるで

ある」か否かを応答させた。

被験者は23～28才の男性8名で、各自の好きな方の手の人差し指を左右に動かしてスライムを触れさせることによって「ぬるぬる」か否かを応答させた。なお、サンドペーパーの場合と同じくスライムの形状も判断に影響を及ぼす可能性があったので被験者は自分の指先を見ることができないよう衝立を立てた。また、実験中の指の動きをサンドペーパーの場合と同じくビデオで録画した。

4. 2 実験結果

結果を図5にヒストグラムで示す。縦軸には8名中の何名が「ぬるぬるである」と判断したかを、横軸にはスライムの粘度を示す。ただし、粘度は回転粘度計で測定したもので、デシパスカル秒(dPa·s)で表示した。

図5から、粘度が0.3,17,140dPa·sの時に多くの被験者が「ぬるぬるである」と答えており、特に17dPa·sの時に最も多くなった。また、1100dPa·sの場合は「ぬるぬるである」と答えた被験者はいなかった。

また、ビデオから求めた指の移動速度は被験者によって様々であるが、1.5～12mm/secであった。なお、粘度の異なるスライムを触る場合、粘度と指の移動速度との間に関連は見られなかった。

4. 3 考察

0.03～140dPa·sのスライムの中では指を比較的容易に動かすことができる。と

ころが、1100dPa·sのスライムでは容易に動かせない。また、粘度が0.03dPa·sと低くとも（参考までに水の粘度は0.01dPa·sである）スライムである以上少しは粘性がある。以上のことから、指を動かすことができることと、少しの粘性があれば「ぬるぬる感」を呈示できるかもしれない。「ぬるぬるである」様な感じを呈示できれば子音が有声であることや鼻音/n/であるという手がかりを与えることができる。

17dPa·sのものに比べて140dPa·sのものは、粘度が大きいため指を動かした場合に指が移動方向とは逆に引っ張られるような感覚が生じた。その感覚が「ぬるぬる感」を抑制しているために17dPa·sよりはヒストグラム値が低くなったのであろう。逆に0.03dPa·sのものは粘性が低いため、水っぽく知覚され17dPa·sのものよりヒストグラム値は低くなったと考えられる。いずれにしても、粘性が高くても低くても「ぬるぬるである」とは知

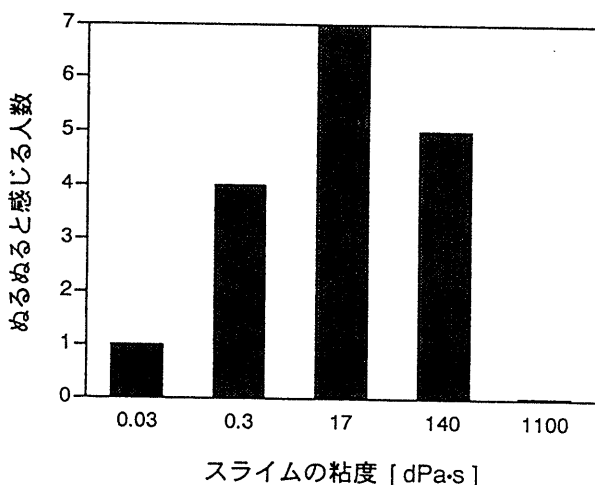


図5 スライムの粘度とぬるぬると感じる人数

覚されにくいようである。今回の実験から17dPa・s付近に「ぬるぬる」の閾値があると推測できる。実際には、タクティルボコーダの刺激呈示部にスライムを使うことは不可能なので、電気流体力学における成果などを利用して粘性を電氣的に変化させることのできる刺激呈示部を開発していく必要がある。

5. まとめと課題

音声を触覚の質的な情報に変換して呈示するタクティルボコーダを提案し、どのような触感がどのような子音に対応しているかを調べた。また、触感の内「ざらざら感」「ぬるぬる感」を呈示するための基礎データを求めた。その結果、

1 指先と物体との間の摩擦抵抗や粘性が小さいときには無声子音を、大きいときには有声子音を想起しやすい。

2 物体表面の摩擦抵抗が小さいときには主に摩擦子音 (/s/ など) を、また、粘性が大きいときには主に鼻子音 (/n/ など) を想起しやすい。

3 サンドペーパーを用いた実験により「ざらざら」とやっとな知覚される表面粗

さは平均粒子径で30 μ mであることがわかった。「ざらざら感」を自動呈示することにより、摩擦音などを識別させる手がかりが得られるであろう。

4 スライムを用いた実験により最も「ぬるぬる」と知覚される粘度は17dPa・s前後であることが推測された。「ぬるぬる感」を自動呈示することにより鼻子音などを識別させる手がかりが得られるであろう。

今後は、有声・無声の識別や摩擦音・鼻子音の抽出のためのアルゴリズムを開発するとともに、表面粗さや粘性を電氣的に作り出すことのできるようなデバイスを模索していきたい。

<参考文献>

- 1) 和田, 伊福部, 泉, 松島「タクティルボコーダにおけるスウィープ呈示方式の提案と評価」信学技報 MBE 92-47 (1992)
- 2) JIS R6001-1987
- 3) 飯田, 鬼武, 野呂「かたさ・弾力性の官能評価に関する触知覚研究 (第2報)」日本人間工学会第31回大会講演集 p.p.156-157 (1990)