



# 確率共鳴効果を用いた布判別精度向上に関する研究

Improving the sensitivity of texture discrimination using stochastic resonance

鈴木貴志<sup>1)</sup>, 南柚衣<sup>2)</sup>

Takashi SUZUKI, Yui MINAMI

- 1) 京セラ株式会社 研究開発本部 フューチャーデザインラボ  
(〒220-0012 神奈川県横浜市西区みなとみらい 3-7-1, takashi.suzuki.fj@kyocera.jp)
- 2) 奈良女子大学大学院人間文化総合科学研究科  
(〒630-8263 奈良県奈良市北魚屋東町, way\_minami@cc.nara-wu.ac.jp)

**概要:** アパレルの EC サイトでは、商品を購入する際の情報と、届いた商品の風合いなどのギャップがあることが高い返品率の原因の一つである。本研究では、一般的な消費者を対象にして布表面のわずかな違いでも知覚できるようにするため、布に対する触覚の感受性を向上させる目的で、確率共鳴現象による布の判別能力への適用を検討したので報告する。実験の結果、閾値以下の振動を加えることにより、特定の布組織に対する判別精度の向上が起きることが明らかになった。

**キーワード:** 確率共鳴現象, 触覚, 布

## 1. はじめに

EC (Electronic Commerce) 取引での「衣類・服装雑貨等」の市場規模は 2.4 兆円 (令和 3 年) [1] と巨大で、年々増加傾向にある。しかし、EC で購入したアパレルの返品率は平均 30% と言われ、非常に返品が多い業界である。そこで返品理由を調査した結果 [2] によると、「サイズ」「色・柄」に次いで「素材感・風合い」「安っぽかった」が 3, 4 位である。「安っぽかった」も「風合い」と考えることができ、両者を合わせてカウントすれば、「風合い」に関する返品は 2 番目に多い。当然ながらアパレル企業は EC サイトに写真や素材、風合いといった情報を掲載している。しかし、消費者がそれらの情報から得られるイメージや経験的に触れている布の感じ方と、届いた商品の感触との間にギャップがあるために返品に至ると考えられる [3]。

このことから一般的な消費者は布に対する判別精度が大きくばらつくのではないかと推測した。これを裏付ける例として、小林ら [4] は 309 人もの大人数を対象に、素材・性質が大きく異なる布を用いた接触判別調査を行い、正解者が 14~65% しかないことを報告している。

そこで筆者は一般的な消費者を対象にして、布の特徴や差異を判別できる能力を向上すればこのギャップを縮め、返品を減少させることができると考えた。布に触れた際の触感は、入力される物理刺激を機械受容器・感覚神経を介して感じ取る、触覚に大きく依存する。そこで布表面のわずかな違いでも知覚できるようにすべく、触覚の敏

感を向上させる方法を検討した。触覚能力を向上させる方法として、知覚できないような振動を指先に加えることで、もともとは感じられなかった微細な機械的刺激を感じられるようになる確率共鳴現象に注目した [5][6][7]。本稿では布の判別精度に対して、確率共鳴現象による効果の有無を調べたので報告する。

## 2. 実験

本実験では、指先に微弱な振動を加えることによる布の判別精度への影響を明らかにする。また振動強度と判別精度の関係も調べるため、試験では複数の振動強度を用いる。

### 2.1 布試料

本実験で用いた布試料は、表 1 に示す 9 種類である。実験の目的を鑑みて、一般的な衣服に用いられやすい布を

表 1. 試験に用いた布地試料

名前	組成	テキスタイル	糸生地厚
デニム	綿 100%	岡山県倉敷市産 (2/1 綾織り)	12oz
ちりめん	ポリエステル 100%	二越ちりめん、撚りなしタテ糸、右撚り左撚りの糸を 2 本ずつ織り込み	-
ツイル	綿 100%	ツイル (3/1 綾織り、キナリ)	20番
フラノ	毛 90% ナイロン 10%	カラーフラノ (2/1 綾織り)	14番
綿麻	綿 50%、麻 50%	平織り	20s
コマシャンプレー	綿 100%	コマシャンプレー	40s
ローン	綿 100%	ローン (平織り)	80番
スムース	綿 100%	スムースニット (緯編、ダブル組織)	40s
ワールトロ	毛 100%	トロピカル (平織り) 経糸緯糸曲がり	60番

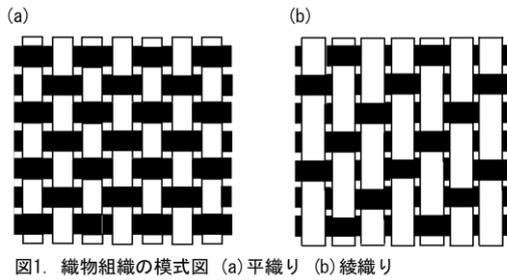


図1. 織物組織の模式図 (a)平織り (b)綾織り



図2. 試験サンプルの表面の様子 (拡大) 参照チャート用と同じ配置

選択した。これらの9種類の布のうちスムースは編物であり、それ以外は織物である。また織物の組織はたて糸とよこ糸の繊維を交互に織った平織りと、たて糸とよこ糸の繊維を1束または複数の束を一定の規則性をもって織った綾織りに分類される(図1)。本試料の中では、フラノ、デニム、ツイルが綾織りであり、これらとスムースを除く残り5試料が平織りである。

本研究では、振動子を設置した指での確率共鳴効果を調べるため、面状に設置した布の表面を指先でなぞる。表1の各布を7cm×7cmに裁断し、布の裏面の周辺部に幅1cmの両面テープを貼り、段ボールの台紙に貼り付けて参照用チャート(図2)を作成した。参照用チャートには、それぞれの布の名称を記載してあり、被験者は開口部(5cm×5cm)から布の表面を指でなぞって認識する。

### 2.2 振動装置

振動源の信号はPCのソフトで作成した。先行研究等[5]を参考に、ホワイト振動を生成してこれをLow pass filterを通して500Hz以下の成分のみをアナログ出力から取り出した。この信号をアンプ(PAM8012)で増幅することで振動子の入力信号を生成した。振動子は指に装着できるサイズが求められるため、小型で安価に入手できるリニア振動アクチュエータ(日本電産コパル株式会社, LD14-002)を用いた。

指腹部で布をなぞる際に干渉しないように、配管用パテを用いて非利き手(被験者は全て右利きのため、全員左手)の人差し指側部に振動子を取り付ける。またリニア振動アクチュエータは、振動方向が指の長手方向に沿うように設置した。

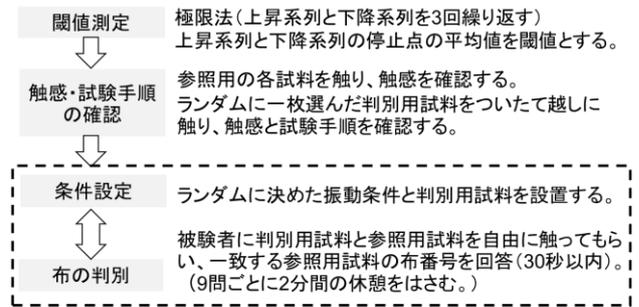


図3. 試験手順の概要

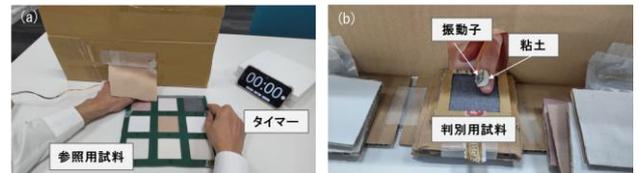


図4. 実験の配置 (a)被験者側 (b)ついたて側

### 2.3 実験手順

被験者は23~60歳の11名で男性8名、女性3名からなる。日常的に手芸に親しむ人が1人含まれている。実験手順の概要図を図3に載せる。

#### (a) 閾値測定

まず被験者の振動に対する閾値を極限法で計測した。被験者は振動子を装着した指を、布をなぞる時と同じ姿勢に保持する。被験者が十分感知できる振動強度から徐々に強度を弱くしていき、振動を感じなくなった時点の強度を記録する(下降系列)。次に被験者が感知できない振動強度から徐々に強くしていき(上昇系列)、振動を感じた時点の強度を記録する。これを3回繰り返して、合計6回の平均値を閾値(1T)とし、実験で使用する各振動強度(0T, 0.2T, 0.5T, 0.7T)の入力信号を計算する。

#### (b) 試験手順の確認、テスト

被験者に判別試験の作業内容を確認してもらう。まず参照用チャートの9種類の布に触れてもらったのち、振動子が装着された人差し指のみを段ボールの開口部を通して試験用試料に触ってもらう(図4)。この試験用試料とは、各布を7cm×7cmに裁断して裏面の周囲に幅1cmの両面テープを貼り、7cm×7cmの段ボールの台紙に貼り付けたもので、9種の試験用試料から1つを選択する。段ボールの開口部には中が見えないように目隠しを設置してあるが、試験用試料は穴の近傍に指を挿入すればすぐに触れることができる高さや位置に設置してある。

参照用チャートは机の上に置かれているが、被験者の好きな場所に移動してもよい。被験者は試験用試料と同じ布と考えられる布の名称を回答してもらう。また被験者が見やすい場所にデジタルタイマーが設置されている。判別試験の際に、被験者は試験用試料と参照用チャートのどちらでも、何度でも触ってよいが、30秒以内で回答することが求められる。被験者は実験担当者から説明を聞き、一連の動作を実施して手順を確認する。

	デニム	17	0	3	1	0	0	0	0	1	
	ちりめん	0	22	0	0	0	0	0	0	0	
正解ラベル	ツイル	1	0	8	0	1	5	1	5	1	
	フラノ	2	0	0	13	2	0	0	2	3	
	綿麻	2	0	1	1	11	1	1	0	5	
	コマシャンプレー	1	0	2	0	3	10	3	0	3	
	ローン	0	0	6	0	0	4	12	0	0	
	スムーズ	0	0	0	1	0	0	0	21	0	
	ウールトロ	3	0	1	1	2	0	1	0	14	
		デニム	ちりめん	ツイル	フラノ	綿麻	コマシャンプレー	ローン	スムーズ	ウールトロ	
											回答ラベル

図5. 全試行（合計22試行）での正解数を表す混同行列  
振動なし（0T）条件

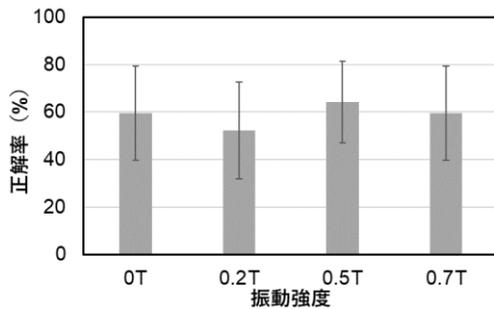


図6. ちりめんを除く、全試料の正解率の振動強度依存性

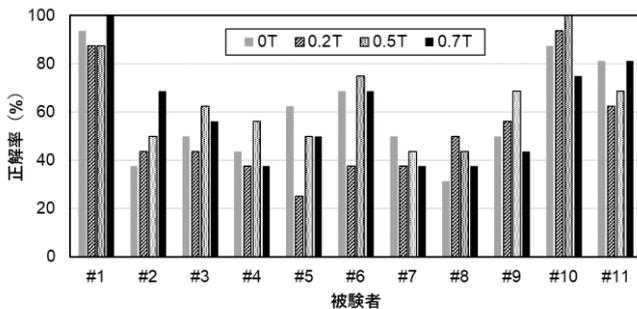


図7. 振動条件ごとの各被験者の正解率

(c) 判別試験

振動強度はいずれも被験者に知覚できない、0T（振動なし）、0.2T、0.5T、0.7Tの4条件で実施した。試験用試料と振動条件を組み合わせた出題順序はランダムである。全条件を1ユニット(36問)とし、合計2ユニット(72問)で実験を行った。9問ごとに2分間の休憩を入れた。参照用チャート、試験用試料ともに表面状態の均一性を保つため、被験者ごとに布は全て新しいものに交換した。

3. 実験結果

3.1 全試料での布判別試験結果

振動がない条件（0T）での全試行（1布当たり11名×2試行）での正解数を表す混同行列を図5に示す。回答ラベルと正解ラベルをそれぞれ横軸と縦軸で示す。ちりめんでは全員が正解であることがわかる。ちりめんの表面には特徴的な絞り形状があり、他の布との差異が顕著だっ

たためと考えられる。他の振動条件（0.2T、0.5T、0.7T）でもちりめんは全被験者が正解であった。そのため、以降の解析ではちりめんを統計処理から除くことにした。

ちりめんを除く全試料について、正解率の振動強度依存性を図6に、また各被験者の正解率の分布を図7に示す。いずれの振動強度でも振動を加えない場合との有意な差が見られず、確率共鳴現象による汎用的な布の判別精度の向上効果は見られなかった。

3.2 布ごとの解析

次に各布の判別結果について詳細な解析を行った。振動を加えない条件に対する強度0.5Tと0.7Tの正解数を、それぞれ図8と図9に示す。図8から振動強度0.5Tではフラノで有意（ $p < 0.05$ ）に正解率が上昇していることがわかった。また図9に示すように、振動強度0.7Tでは、ツイルで有意に正解率が上昇、デニムで有意に正解率が下降していることがわかる。一方、これらの布を除くと、いずれの場合も振動あり／なしでほとんど差異がないことがわかった。

そこで有意差が認められた3つの布が試験用試料であった際に、被験者の回答数（合計22問）を図10(a)～(c)に示す。このグラフを見ると、フラノやツイルの場合、振動がない場合に誤答であった綿麻やスムーズ、ウールトロといった平織りの布が、振動を加えることにより正解になる場合が多いことがわかる。一方、振動を加えることにより正解率が低下したデニムに関しては、同じ綾織りの分類に入るフラノやツイルへの誤答が増加していることがわかる。

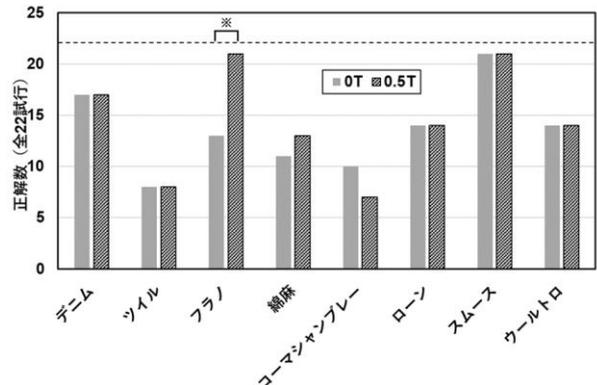


図8. 布ごとの正解数：振動条件0Tと0.5Tの比較

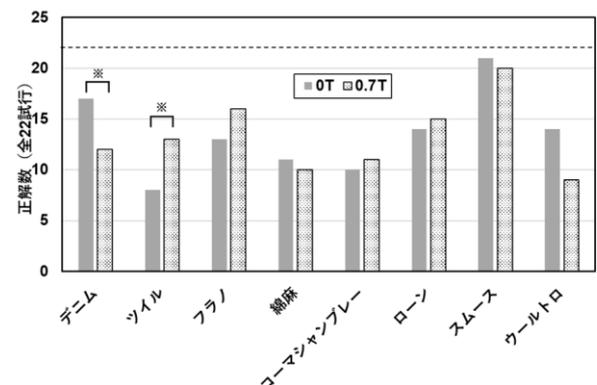


図9. 布ごとの正解数：振動条件0Tと0.7Tの比較

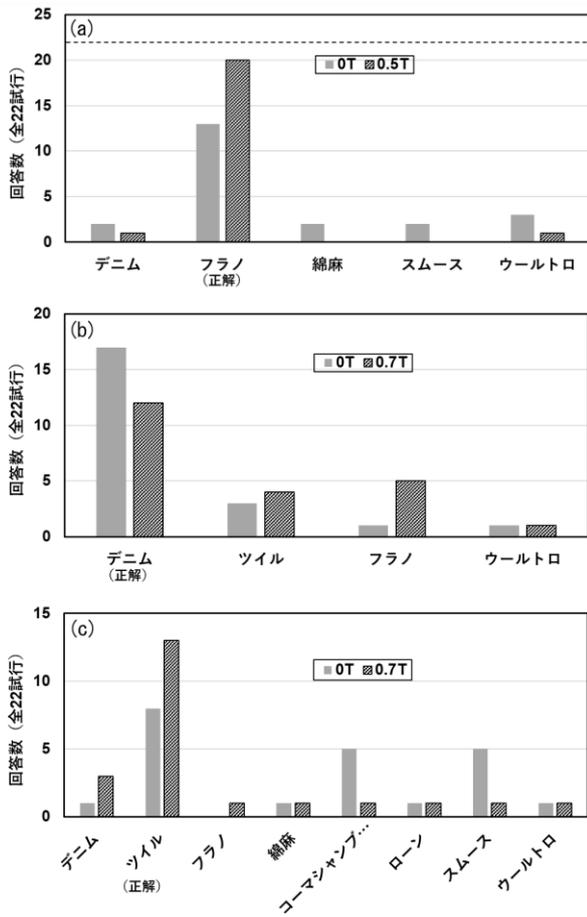


図10. 有意差が認められた、判別試料ごとの回答数  
判別試料が、(a) フラノ、(b) デニム、(c) ツイル の場合

4. 考察

全員が正解したちりめんを除くと、図 7 に示すように触覚のみによる判別の正解率は約 30%~95%であり、大きな幅がある。本被験者の中で、日常的に布に接する機会が多い被験者 (#1) では正解率が非常に高かった。筆者が推測したように触覚による布の判別精度は個人ごとにばらつく、という推測と一致する。

布ごとの判別精度の結果から、今回の実験では少なくとも綾織りと平織りの布群の間で、判別精度が上昇している (図 11)。図 2 に示すように、平織りでは縦横直角方向に畝が現れるのに対し、綾織りでは畝が斜め方向につくことが特徴である。そのため、確率共鳴によって平織り、綾織りそれぞれに分類される布の微細な判別向上までは至らないものの、表面の比較的大きな畝の方向性については確率共鳴現象によって判別精度が向上したものと考えられる。一方、振動を加えることにより有意に正解率が低下したデニムに関しては、同じ綾織りの分類に入るフラノやツイルへの誤答が増加していることから、綾織りに分類される複数の布での微細な触覚の違いをむしろ鈍感にさせている可能性がある。従来の研究において、知覚できない振動強度の振動を加えることにより、判別精度が有意に劣化するという結果は筆者の知る限りこれまで報告がなく、確率共鳴現象には鈍感効果がある可能性もあり、今後の研究の課題である。

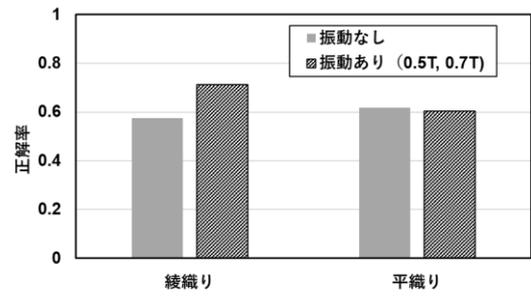


図11. 確率共鳴効果の繊維組織依存性  
振動ありでは0.5Tと0.7Tの条件の平均値

5. むすび

布の判別成績に確率共鳴現象が発現するかどうかを調べた。用いた布は衣料品量販店で購入でき、一般的な衣料に用いられやすい生地を選択している。その結果、確率共鳴現象による、汎用的な布の判別精度の向上効果は見られなかった。しかしながら、布ごとの判別精度の結果から、今回の実験では少なくとも綾織りと平織りの布群間での判別精度が上昇していることがわかった。一方、平織りの布群内では確率共鳴現象の効果はなく、また綾織りの布群内でも確率共鳴現象の効果はないか、一部ではむしろ判別精度の劣化が認められた。

謝辞 本研究はインターンシップにより遂行されたものです。関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 経済産業省 商務情報政策局 情報経済課：令和 3 年度 電子商取引に関する市場調査 報告書。
- [2] 信木理恵子, 安藤健, 奥脇奈那子, 谷祥子, 松梨久仁子: アパレル企業を対象にした EC サイトにおける布の風合い表現に関する調査, Jpn.Res.Assn.Text.End-Uses. Vol. 62, No.11, P.733, 2021.
- [3] 谷祥子, 田邊しずか, 奥脇奈那子, 松梨久仁子, 信木理恵子, 安藤健: EC サイトにおける布の風合いに関する表現と消費者の意識, Jpn.Res.Assn.Text.End-Uses. Vol. 63, No.3, P.177, 2023.
- [4] 小林久美, 鈴木公啓: 繊維の知識や生地との接触判別と家庭科の学習との関係, 東京未来大学保育・教職センター紀要, 第 4 号, p.31-37, 2017.
- [5] Kurita, Y., Shinohara, M. and Ueda, J. : Wearable sensorimotor enhancer for fingertip based on stochastic resonance effect, IEEE Trans. on Human-Machine Sys., 43(3), p.333-337, 2013.
- [6] 濱崎愛, 唐島卿, 横山哲大, 橋本悠希: 爪上振動刺激が触覚感度及び巧緻性に与える影響, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 25, No. 4, pp. 326-333, 2020.
- [7] Sugimoto, E. and Sasaki, H. : Validation of a Vibrotactile Stimulation System Using the Wii Remote for Studies of Tactile Sensitivity, The Open Psychology Journal, vol. 10, pp. 118-126, 2017.