

触察行動を誘引するテクスチャ： テクスチャの際立ちが触察を誘引・決定する

永野 光¹ 岡本 正吾¹ 山田 陽滋¹

概要：日常生活の中で、ふと目にした素材についつい触れてみたいと感ずることがある。本研究は、このような素材による触察行動の誘引を取り扱う。われわれは、素材により誘引される触れ方の違いに着目し、触察行動誘引のメカニズムに関する仮説を立て、実験を通してこの仮説を検証した。仮説は、1) テクスチャの要素（粗さ、温冷、摩擦、硬軟、凹凸、光沢知覚の6種の特徴）のいずれかが際立った素材は触察行動を誘引し易く、さらに、2) 誘引される触察行動はテクスチャの際立ち方の違いに影響される、である。実験では、官能評価実験から36種類の素材のテクスチャを測定した。また、参加者が素材に触れる際の行動を計測するとともに、得られた結果に対しクラスタ分析を適用することで、誘引される触れ方を4種に分類した。そして、テクスチャと触察行動の関係を表す確率モデルを構築し、確率推定を行った。その結果、際立ったテクスチャを有する素材は、特定の触れ方を誘引する確率が高いことが明らかになった。

Haptic Invitation of Textures: Perceptually Prominent Textures Invite and Determine Human Touch Motions

HIKARU NAGANO¹ SHOGO OKAMOTO¹ YOJI YAMADA¹

Abstract: Some textures and materials invite human touch in daily life. Such phenomena are called haptic invitation. In this article, we tested the hypothesis that the textures with perceptually prominent properties favorably invite specific touch motions. We conducted sensory evaluations of 36 textures to acquire their perceptual properties. Furthermore, we recorded human touch motions elicited by these textures and extracted four touch modes using a clustering method. We developed a Bayesian network model that represents probabilistic relationships between texture-invited touch motions, touch modes, and perceptual properties of textures. The model substantiated that the textures with perceptually prominent properties frequently invite specific touch motions that are suitable for examining those properties. These results support our hypotheses.

1. 序論

日常生活の中で、素材についつい触れてみたくなるという体験を、誰しもがしている。例えば、適度な触刺激が期待できる凹凸のある表面や、非常に滑らかな触り心地の皮革、適度な弾力のシリコンゴム表面などが、触察行動を誘引する素材と成り得る。このような触察行動を誘引する素材は、ついつい手を伸ばしたくなる商品の開発や、人の好奇心を刺激するデザインに利用できる可能性を秘めている。そこで、われわれは、素材による触察行動の誘引現象

(haptic invitation)を理解すると共に、工学的に利用可能な技術とすることを目指している。

これまでに、限られた因子を組み合わせることにより、触察行動を誘引する素材やオブジェクトを設計する方法が確立され始めている。Naganoら[1],[2]は、素材の物理・材質感因子の組み合わせによって、触察行動を誘引する度合の7-8割を設計可能であると報告した。また、素材表面の光沢や、加工された溝の形状が触れてみたさに強く影響する一方、素材表面の色の影響はほとんどないことを明らかにした。KlatzkyとPeck[3]は、表面の粗さに関して、人はより滑らかな表面を有するオブジェクトに触れてみたいと感ずると報告した。

¹ 名古屋大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University

触察行動を誘引する確率の高い素材の設計が可能になりつつある一方、「なぜ触れてみたくなるのか？」という根本的な疑問への理解は深まっていない。われわれは、素材によって誘引される触れ方が異なるという報告 [4] が、触察行動の誘引現象を理解するための重要な糸口になると考える。Nagano ら [4] は、素材が誘引する触れ方(なでる・押す・擦るなど)の違いに着目し、素材に触れる際の行動量(接触時間、なぞり速度など)より触れ方を分類した。そして、誘引される触れ方は、素材によって異なることを明らかにした。このことから、触察行動誘引のメカニズムに関する次の仮説を立てる。

仮説 1: 際立ったテクスチャを有する素材は触察行動を誘引する確率が高い。

仮説 2: 誘引される触れ方は際立ったテクスチャの違いに影響される。

例えば、非常に軟らかな素材は、硬い素材に比べ、押すような触れ方を誘引する傾向があると予想する。この仮説を実験を通じて検証することで、触察行動の誘引現象の理解を深める。

本稿では、素材のテクスチャ(粗さ感・硬軟感・光沢感など)と、それらの素材が誘引する触察行動の統計的な関係を特定する。皮革・布・木材などの多様な素材のテクスチャを、官能評価実験を通して測定する。また、素材に触れる際の行動量を計測し、それらから素材への触れ方を分類する。そして、素材のテクスチャ、計測された行動量、および分類された触れ方の関係を表す確率モデルを構築する。構築されたモデルを用いることで、テクスチャの際立ちと、誘引される触察行動・触れ方の関係を統計的に調査し、仮説を検証する。

これまでに、素材やオブジェクトへの触れ方に関する研究報告が存在する。例えば、Lederman と Klatzky [5] は、オブジェクトの硬軟や重量などの特徴を調査するとき、特徴の違いによって触れ方が異なることを明らかにした。他にも、Peine ら [6] は軟体物質中のしこりの触診動作について、また、Kunesch ら [7] は物体の形状や素材のテクスチャを触察する際の指の移動速度について、それぞれ報告している。しかしながら、触察行動を誘引する素材と、触察行動の関係性はこれまでに調査されておらず、本研究がその第一報である。

2. 実験内容

本研究では、2 種の実験を行った。実験 1 では、参加者は、素材の官能評価を行い、その結果から素材のテクスチャを求めた。実験 2 は、誘引される触察行動の観察実験である。カメラおよび力覚センサを用いて、参加者の触察行動を計測した。実験は、名古屋大学工学部倫理部会の承認を得て実施され、参加者は、公募によって選ばれた 20 歳前後の日本人大学生 14 名であった。それぞれの実験の詳細を、以下に記す。

2.1 実験 1: 6 種のテクスチャの測定

2.1.1 タスク: 官能評価

実験 1 では、参加者は、一つずつ提示される試料(素材)を 6 種の 7 段階尺度を用いて評定した。尺度は、「凹凸のある (uneven) - 凹凸のない (flat)」, 「粗い (rough) - なめらか (smooth)」, 「硬い (hard) - 軟らかい (soft)」, 「温かい (warm) - 冷たい (cold)」, 「滑り難い (sticky) - 滑り易い (slippery)」, 「光沢のある (glossy) - 光沢のない (gloss-less)」の 6 種とした。実験用の評価シートには、日本語と英語を併記した。6 種の評価項目は、素材のテクスチャ(素材表面の物理的特性の知覚)を構成する次元の中で、触覚および視覚的な 6 種の次元に基づき決定した [8]。

実験中は、Fig. 1a に示すように、140 mm × 140 mm の正方形を持つ樹脂平板を試料上部に配置した。参加者からは試料の断面は見えず、表面のみを見て、試料に対する印象を評価した。試料の見え方が変化することを避けるため、実験中は、参加者がむやみに頭部を動かすことを禁止した。参加者ごとの試料の提示順と、試料ごとの評価項目の提示順は、すべてランダムとした。

試料への 7 段階評価に、1 から 7 の値を付与した後、各項目への値を参加者ごとに標準化し、試料ごとの 6 種の評価項目の値を算出した。

2.1.2 試料: 36 種の素材

実験に用いた試料は、Fig. 2 に示した 36 種の素材である。これらの 36 種は、6 種の評価項目への値がばらつくように、選定された。ファーなどのかさ高く非常に軟らかな試料から、人工芝などの表面が非常に粗い素材まで、幅広い触感の素材を含めた。柔軟素材は樹脂平板に両面テープを用いて固定した。

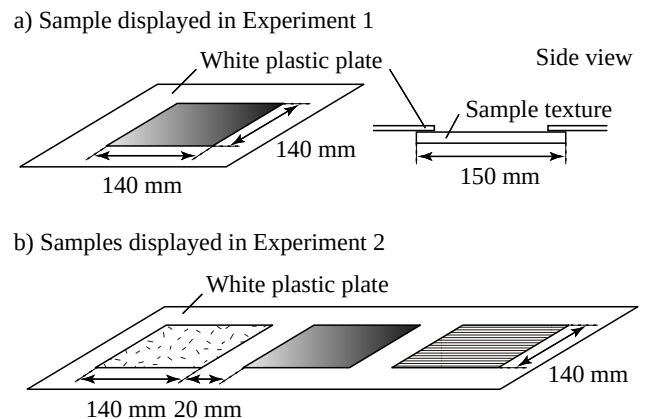


図 1 試料の提示方法

Fig. 1 Presentation method of materials

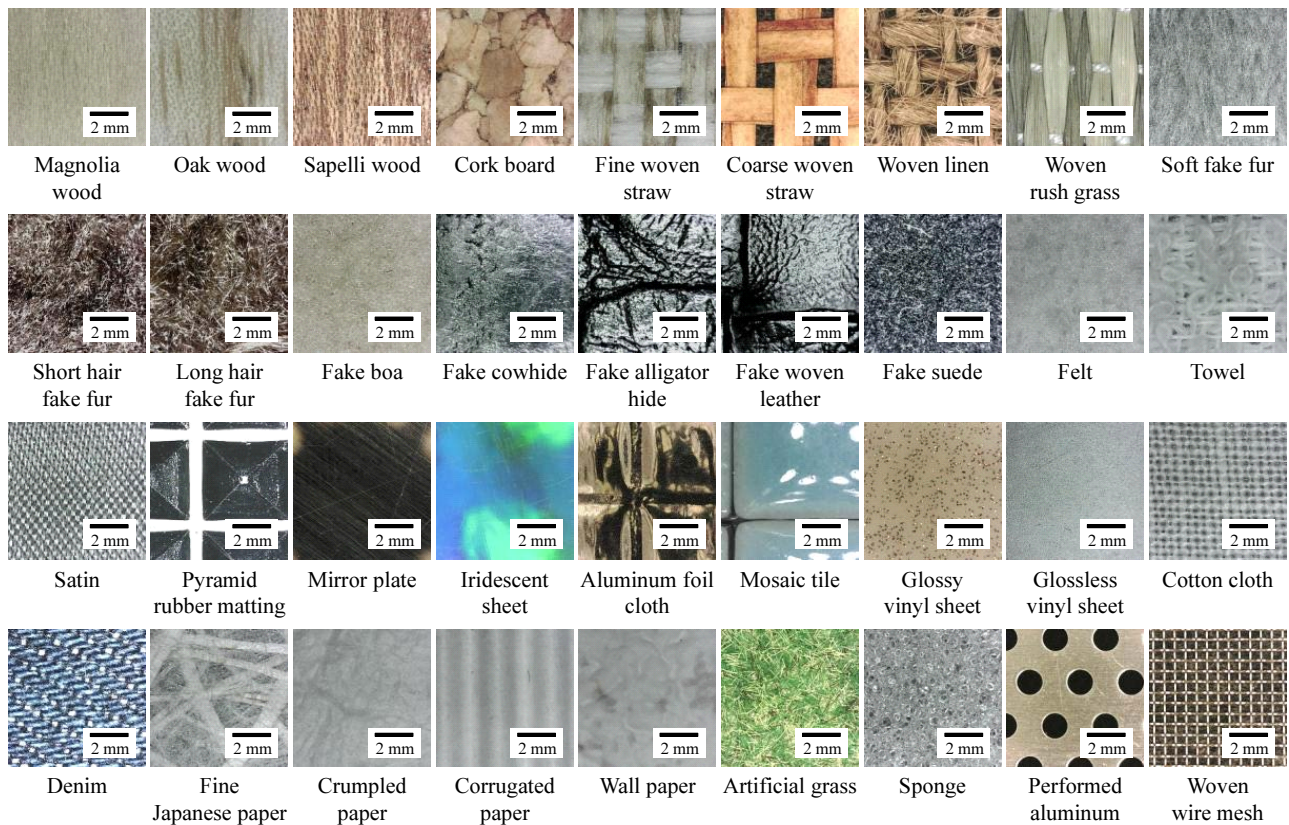


図 2 実験に用いた 36 種の素材
Fig. 2 Thirty six materials used in experiments

2.2 実験 2: 触察行動の計測

2.2.1 タスク: 触れてみたい素材に触れる

実験 2 では、参加者は、Fig. 1b に示すように提示された 3 種の試料のうち、最も触れてみたいと感じる 1 種に自由に触れた。試料 1 種のみを参加者に提示した場合、参加者は強制的に試料に触れなければならない、誘引される触察行動を自然に計測することはできない。そこで、参加者に 3 種の試料を提示し、その中から 1 種を選択させることで、観察される触察行動の不自然さを緩和した。また、参加者には、実験の開始まで目を閉じ、実験開始のビープ音と同時に目を開けるように指示した。

2.2.2 誘引の度合に基づく試料の組み合わせ

ある試行において、参加者に同時に提示する 3 種の試料の組み合わせは、試料が触察行動を誘引する度合を用いて決定した。触察行動を誘引する度合は、触れてみたさに関して試料を順位付けし、その結果に対し正規化順位法を適用することで算出した [1], [2]。参加者らは、同時に提示される 36 種の試料を順位付けた。これらの度合は、5 名の大学生による予備実験を通して、あらかじめ測定すると共に、本実験での参加者からも測定した。度合は、参加者ごとの度合の平均とし、本実験において新たな度合が測定されるたびに、更新された。

一試行の中で同時に提示される 3 種類の試料の組合せを

つぎのように決定した。3 種の内の 1 種は、誘引の度合が大きい上位 12 種の試料より選択した。さらに 1 種を、下位 12 種の試料より選択し、最後の 1 種は、残された 12 種の試料より選択した。こうすることにより、誘引の度合が大きい試料が、一試行で同時に提示されないようにした。以上により決定される 12 組を用いて、12 試行を行った。その後、そこで触れられなかった 24 種の試料を用いて、上

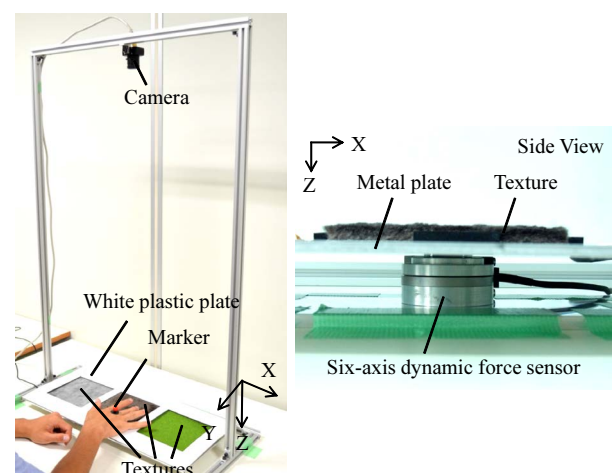


図 3 Measurement of touch motions to textures
Fig. 3 素材への触察行動の計測

述と同様の手順により、再度 8 組の試料群を構成し、さらに 8 試行を行った。以上の結果、参加者ごとに、20 種の試料への触察行動を計測した。参加者ごとの、試料群の組み合わせと試料の配置位置は、すべてランダムとした。

2.2.3 計測方法

実験 2 では、試料に触れる際の参加者の触察行動を計測した。Fig. 3 に示すように、カメラ (Firefly MV, Point Grey Research Inc., Richmond, Canada, 640 × 480 pix, 60 fps) を用いて、指の位置情報を計測した。指の位置は、利き手中指の第三関節付近に貼りつけたマーカの位置とした。また、Fig. 3 に示すように、人が試料に触れる際の接触力は 6 軸力覚センサ (MINI 2/10, BL AUTOTEC. LTD., Kobe, Japan) を用いて計測した。6 軸力覚センサは試料を固定したアルミニウム平板の下に配置され、試料への指の接触力は、50 Hz のサンプリング周期で計測した。

3. 触察行動とテクスチャの関係を表す確率モデルの構築

素材のテクスチャと触察行動の関係を調査するため、それらを相互に推定可能な確率モデルを構築する。同じ素材であっても、触れ方がいつも同じとは限らないため、テクスチャと触察行動の関係を確率的に表現する。

本研究では、確率モデルの構築にベイジアンネットワークを採用した。素材のテクスチャと触察行動の間の因果関係を事前に仮定せず、計測された値を用いてネットワークの構造を学習する。そして、構築されたモデルを解析することで、素材のテクスチャと触察行動の関係を理解する。また、観察された特徴量を証拠として用いることで、観察されていない事象の状態の推定が可能である。例えば、特定の触察行動に関係する特徴量を証拠として用いることで、その触察行動を誘引する確率の高い素材のテクスチャの状態が推定可能である。

まず初めに、実験 1 および 2 の結果を用いて、ベイジアンネットワークを構成する特徴量 (素材のテクスチャ、触察行動、および触れ方) を抽出した。そして、これらの特徴量を用いて、確率モデルを構築した。

3.1 特徴量の抽出

ベイジアンネットワークを構成するノードは全て離散変数とした。各ノードの詳細を下記に述べる。

3.1.1 6 種のテクスチャを表す特徴量

「凹凸のある - 凹凸のない」、「粗い - なめらか」、「硬い - 軟らかい」、「温かい - 冷たい」、「滑り難い - 滑り易い」、「光沢のある - 光沢のない」の評価項目への官能評価の結果を用いて、6 種のノードを生成した。それぞれのノードは、標準正規分布において、生起確率を 3 等分する値 (-0.43, 0.43) を基準として 3 値化した。例えば、ある参加者において、soft fake fur への標準化された「粗い - なめ

らかな」の評価値は -1.1 であり、-0.43 よりも小さい。そのため、soft fake fur の粗さ感 (*Micro Roughness*) は、「なめらか (smooth)」と分類された。以下に示すように、6 種の特徴量を 3 値化した。

Macro Roughness: Flat, middle, or uneven

Micro Roughness: Smooth, middle, or rough

Hardness: Soft, middle, or hard

Warmness: Cold, middle, or warm

Friction: Slippery, middle, or sticky

Glossiness: Glossless, middle, or glossy

3.1.2 触察行動を表す特徴量

触察行動は、カメラおよび力覚センサを用いて、計測された。われわれは、計測結果より 11 種の特徴量を算出した。各特徴量は、参加者ごとに標準化し、テクスチャ同様に基準値 (-0.43, 0.43) を用いて 3 値化した。抽出された特徴量と、それらが取り得る状態は以下の通りである。

Time before Touch: Short, middle, or long

試行を開始した時刻から、参加者の指が最初に試料に接触した時刻までの経過時間を *Time before Touch* と定義した。例えば、ある参加者の計測結果に関して、cork board への標準化された *Time before Touch* の値は 2.2 であり、0.43 よりも高い。そのため、cork board の *Time before Touch* の状態は「long」と分類した。

Contact Time: Short, middle, or long

z 方向の力が閾値より大きいとき、参加者が試料に触れていると判断し、その間の経過時間を *Contact Time* と定義した。*Contact Time* は、「long」、「middle」、そして「short」の 3 値に離散化された。例えば、ある参加者において、crumpled paper への標準化された *Contact Time* の値は -1.1 であったため、「short」と分類された。

Average Vertical Force: Weak, middle, or strong

参加者が試料に触れている間の、z 方向の力の平均より決定された 3 値のノードである。

Maximum Vertical Force: Weak, middle, or strong

z 方向の力の最大値を 3 値化したノードである。

Average Horizontal Force: Weak, middle, or strong

参加者が試料に触れている間の、x 方向と y 方向の力の合力の平均を 3 値化したノードである。

Maximum Horizontal Force: Weak, middle, or strong

x 方向の力と y 方向の力の合力の最大値を 3 値化した。

Average Force Rate: Low, middle, or high

z 方向の力を x 方向と y 方向の力の合力で割った値を *Force Rate* と定義した。*Average Force Rate* は、参加者が試料に触れている間の、*Force Rate* の平均より決定された 3 値のノードである。

Maximum Force Rate: Low, middle, or high

Force Rate の最大値を用いて、3 値化したノードである。

Average Hand Velocity: Slow, middle, or fast

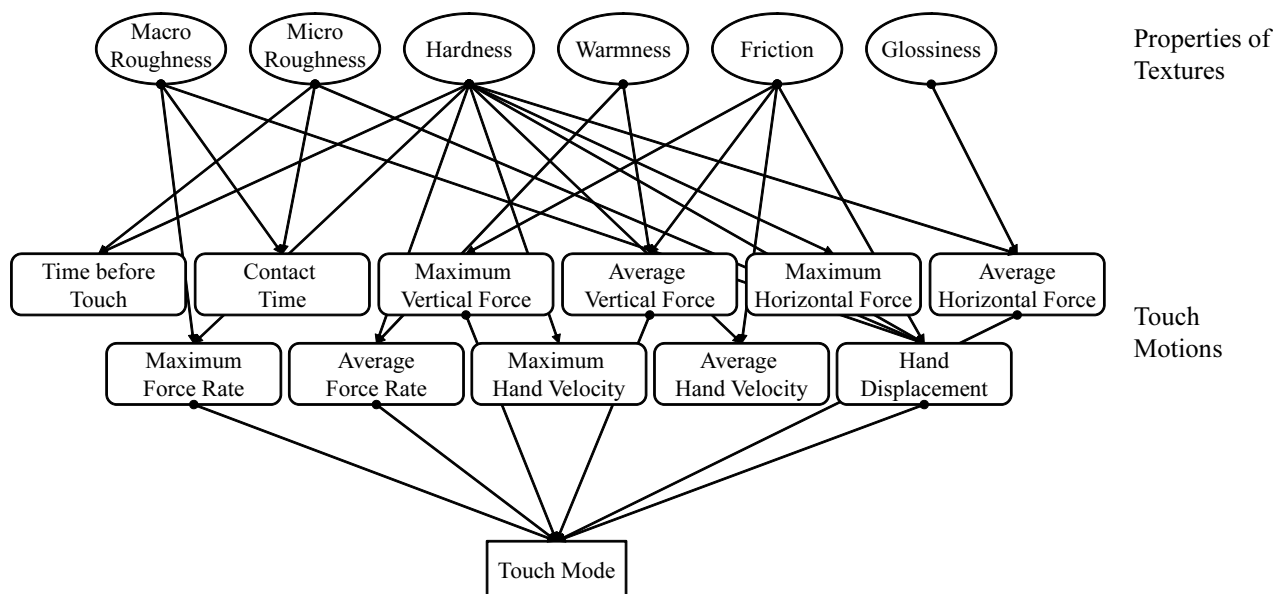


図 4 テクスチャと触察行動を結びつけるベイジアンネットワークモデル
Fig. 4 Bayesian network model to connect perceptual characteristics of textures with touch motions

指の位置座標の時系列データより、指の移動速度を算出した。Average Hand Velocity は、参加者が試料に触れている間の、移動速度の平均より決定された 3 値のノードである。

Maximum Hand Velocity: Slow, middle, or fast

移動速度の最大値を用いて、3 値化したノードである。

Hand Displacement: Small, middle, or large

参加者が試料に触れている間の、指の総移動距離を 3 値化したノードである。移動距離は、指の位置座標の時系列データより算出した。

3.1.3 触れ方を表すノード

Touch Mode: Push, scrub, stroke, or soft touch

われわれは、触れ方 (push, stroke など) を分類するため、Touch Mode というノードを作成した。Touch Mode は、前述の 11 種の触察行動の値を用いて決定される 4 値のノードである。クラスタ分析を用いて、14 人の参加者から取得した触察行動 (280 試行) を 4 種のクラスタに分類した。標準化された 11 種の行動量より 11 次元ベクトルを作成し、ベクトル間のユークリッド平方距離を試行間の非類似度とし、それらの値に Ward 法を適用した。

触察行動との関係を観察することで、分類された 4 種のクラスタをそれぞれ、「push」、「scrub」、「stroke」、そして「soft touch」とした。4 種のクラスタと、それらの特徴付ける触察行動の関係を Table 1 に示す。例えば、「push」は、z 方向の力が大きく、指の総移動距離が小さいという特徴を有する触れ方である。

3.2 テクスチャ、触察行動、触れ方の関係を表すネットワークの構造

実験 1 および 2 より得た学習データを用いて、ベイジアンネットワークの構造を決定した。本研究では、marginal likelihood に基づき、greedy algorithm を用いてネットワーク構造を探索した。獲得されたネットワークの構造を、Fig. 4 に示す。ネットワーク内で結ばれた特徴量を、因果関係の期待できる特徴量と解釈し、テクスチャと触察行動、触れ方の関係を調査するための確率推定に利用する。

4. 仮説の検証: ネットワークを用いた確率推定

素材への触察行動および触れ方を証拠として用いて、素材のテクスチャの状態を推定することで仮説を検証する。「際立ったテクスチャを有する素材は触察行動を誘引する確率が高い」という仮説 1 を検証するため、触察行動を誘

表 1 4 種の触れ方と触察行動の関係

Table 1 Relationships between four touch modes and touch motions

Touch mode	Related touch motions
Push	Average Vertical Force: strong, Hand Displacement: small
Scrub	Maximum Horizontal Force: strong, Average Horizontal Force: strong, Hand Displacement: middle
Stroke	Contact Time: long, Hand Displacement: large
Soft touch	Average Vertical Force: weak, Average Horizontal Force: weak, Hand Displacement: middle

引する素材のテクスチャに確率的な偏りが存在するのかを調査する。例えば、押すような触れ方を誘引する素材が軟らかである確率は、硬いもしくはそのどちらでもない確率に比べ高いと予想する。次に、「誘引される触れ方は際立ったテクスチャの違いに影響される」という仮説2を検証するため、触れ方によって、偏りが存在するテクスチャは異なるのかを検証する。例えば、押すような触れ方を誘引する素材に対しては、素材の軟らかさに偏りが見られ、なでるような触れ方に対しては、素材の粗さが関係すると予想する。

4.1 テクスチャと触察行動の関係

確率推定を行う組み合わせは、構築されたネットワーク内で結ばれた特徴量の組み合わせに基づき決定した。6種のテクスチャと、それらと結びつく触察行動の組み合わせはそれぞれ、「Macro Roughness と Maximum Force Rate」, 「Micro Roughness と Hand Displacement」, 「Hardness と Average Force Rate」, 「Warmness と Average Vertical Force」, 「Friction と Maximum Vertical Force」, そして「Glossiness と Average Horizontal Force」とした。

4.1.1 Macro Roughness と Maximum Force Rate の関係

Maximum Force Rate の値を証拠として用いて、Macro Roughness の状態を推定した。その結果、Table 2 に示すように、Maximum Force Rate の値が「low」であるとき、Macro Roughness の状態は、「flat」である確率が 0.53 で最大となり、Macro Roughness の状態の生起確率に偏りが見られる。つまり、表面が平らな素材に対しては、指の発生力は z 方向に相対的に小さく、x-y 方向に大きい。また、Maximum Force Rate の値が「high」であるとき、Macro Roughness の状態は、「uneven」である確率が 0.58 で最大となった。つまり、x-y 方向の力に比べ z 方向の力が大きい、押すような触れ方を誘引する素材は、表面の凹凸が著しい素材である確率が高い。その一方で、Maximum Force Rate の状態によらず、Macro Roughness の状態が中程度 (middle) である確率は高くない。つまり、凹凸感 (Macro Roughness) の際立った素材 (凹凸感が著しく大きいもしくは小さい素材) は、そうでない素材に比べ、触察行動を誘引する確率が高い。

表 2 Maximum Force Rate を証拠として用いた状態推定による Macro Roughness の生起確率

Table 2 Probabilities of Macro Roughness when Maximum Force Rate is given as a evidence

		Evidence: Maximum Force Rate		
		low	middle	high
Estimated result: Macro Roughness	flat	0.53	0.32	0.25
	middle	0.15	0.24	0.17
	uneven	0.32	0.44	0.58

4.1.2 Micro Roughness と Hand Displacement の関係

Hand Displacement の値を証拠として用いて、Micro Roughness の状態を推定した結果を、Table 3 に示す。Hand Displacement の値が「large」であるという証拠を与えられたモデルは、Micro Roughness の状態が「rough」である確率は 0.62 であると推定した。また、Hand Displacement の値が「middle」であるとき、粗さ感 (Micro Roughness) の状態が「rough」である確率は 0.55 であった。つまり、表面が粗い素材は、なぞる際の指の移動距離が大きい触察行動を誘引し易い。

4.1.3 Hardness と Average Force Rate の関係

Average Force Rate を証拠として用いた状態推定による Hardness の生起確率を Table 4 に示す。Average Force Rate の値が「high」であるという証拠を与えられたモデルは、Hardness の状態が「soft」である確率は 0.61 であると推定した。つまり、軟らかな素材に触れるとき、指の発生力は z 方向に相対的に大きく、x-y 方向に小さい。これは、z 方向に力を加えるという動作が素材の軟らかさを体験もしくは調査するに適した動作であることを示唆している。

4.1.4 Warmness と Average Vertical Force の関係

Average Vertical Force の値を証拠として用いて、Warmness の状態を推定した結果を、Table 5 に示す。Average Vertical Force の値が「strong」であるとき、Warmness の状態が「warm」である確率は 0.48 で最大となった。つまり、z 方向の力の平均が大きい触察行動を誘引する素材は、温かい素材である確率が高い。人は素材の温かさを体験もしくは調査するとき、素材を擦るのではなく押す傾向がある。

表 3 Hand Displacement を証拠として用いた状態推定による Micro Roughness の生起確率

Table 3 Probabilities of Micro Roughness when Hand Displacement is given as a evidence

		Evidence: Hand Displacement		
		small	middle	large
Estimated result: Micro Roughness	smooth	0.35	0.26	0.24
	middle	0.25	0.19	0.14
	rough	0.40	0.55	0.62

表 4 Average Force Rate を証拠として用いた状態推定による Hardness の生起確率

Table 4 Probabilities of Hardness when Average Force Rate is given as a evidence

		Evidence: Average Force Rate		
		low	middle	high
Estimated result: Hardness	soft	0.33	0.44	0.61
	middle	0.25	0.21	0.19
	hard	0.42	0.35	0.19

これは、押すという動作が、素材と指の間の接触面積を増大させる動作であり、温かさを体験するに適しているためであると考えられる。

4.1.5 Friction と Maximum Vertical Force の関係

Maximum Vertical Force の値を証拠として用いて、Friction の状態を推定した結果を、Table 6 に示す。Maximum Vertical Force の値が「strong」であるとき、Friction の状態は、「sticky」である確率が 0.56 で最大となった。つまり、滑り難い素材に触れるとき、z 方向の力の最大値は大きい。これは、摩擦が大きく滑り難い素材に対して、より大きな摩擦力を体験することを期待し、z 方向の力が大きくされた結果であると考えられる。一方、Maximum Vertical Force の値が「weak」であるとき、Friction の状態は、「slippery」である確率が 0.55 で最大となり、生起確率に偏りが見られる。つまり、z 方向の力の最大値は小さい触察行動を誘引する素材は、滑り易い素材である確率が高い。これは、摩擦が小さく滑り易い素材に対して、人が滑りを期待した結果であると考えられる。指を滑らせるためには、z 方向の大きな力ではなく、x-y 方向の大きな発生力が必要である。

4.1.6 Glossiness と Average Horizontal Force の関係

Average Horizontal Force の値を証拠として用いて、Glossiness の状態を推定した。その結果、Table 7 に示すように、Average Horizontal Force の値が「weak」であるとき、「glossless」である確率が 0.60 で最大となった。つまり、光沢の少ない素材に対する指の発生力は、x-y 方向に小さい。また、Average Horizontal Force の値が「strong」であるとき、「glossy」である確率が 0.55 で最大となった。つまり、光沢感の大きい素材に触れるとき、x-y 方向への指の発生力の

表 5 Average Vertical Force を証拠として用いた状態推定による Warmness の生起確率

Table 5 Probabilities of Warmness when Average Vertical Force is given as a evidence

		Evidence: Average Vertical Force		
		weak	middle	strong
Estimated result: Warmness	cold	0.39	0.25	0.17
	middle	0.30	0.33	0.35
	warm	0.31	0.42	0.48

表 6 Maximum Vertical Force を証拠として用いた状態推定による Friction の生起確率

Table 6 Probabilities of Friction when Maximum Vertical Force is given as a evidence

		Evidence: Maximum Vertical Force		
		weak	middle	strong
Estimated result: Friction	slippery	0.55	0.31	0.27
	middle	0.12	0.32	0.17
	sticky	0.33	0.37	0.56

平均値は大きい。

4.2 テクスチャと触れ方の関係

Touch Mode の値を証拠として用いて、6 種のテクスチャの状態を推定した結果を、Table 8 に示す。推定結果の 1 例として、Touch Mode と Hardness の関係を見ると、Touch Mode の値が「push」であるとき、Hardness の状態が「soft」である確率は 0.55 で最大となり、一方で、「hard」である確率は 0.18 である。つまり、軟らかな印象を与える素材は、硬い印象を与える素材に比べ、「push」を誘引する確率が高い。同様に、素材が硬そうに見える場合は、「scrub」が誘引される確率が高い。また、「stroke」と「soft touch」は、素材の見た目の硬軟感 (Hardness) とは顕著な関係がない。さらに、他の 5 種のテクスチャにおいても同様に、触れ方によって、テクスチャの状態の生起確率に偏りが見られた。

表 7 Average Horizontal Force を証拠として用いた状態推定による Glossiness の生起確率

Table 7 Probabilities of Glossiness when Average Horizontal Force is given as a evidence

		Evidence: Average Horizontal Force		
		weak	middle	strong
Estimated result: Glossiness	glossless	0.60	0.44	0.39
	middle	0.12	0.13	0.06
	glossy	0.28	0.43	0.55

表 8 Touch Mode を証拠として用いた状態推定による 6 種のテクスチャの生起確率

Table 8 Probabilities of six properties of textures when Touch Mode is given as a evidence

		Evidence: Touch mode			
		push	scrub	stroke	soft touch
Estimated result: Macro Roughness	flat	0.23	0.42	0.44	0.44
	middle	0.22	0.20	0.14	0.17
	uneven	0.55	0.38	0.42	0.39
Estimated result: Micro Roughness	smooth	0.28	0.33	0.20	0.38
	middle	0.30	0.16	0.17	0.20
	rough	0.42	0.51	0.63	0.42
Estimated result: Hardness	soft	0.55	0.25	0.39	0.43
	middle	0.27	0.18	0.30	0.20
	hard	0.18	0.57	0.31	0.37
Estimated result: Warmness	cold	0.15	0.43	0.33	0.45
	middle	0.40	0.24	0.32	0.27
	warm	0.45	0.33	0.35	0.28
Estimated result: Friction	slippery	0.28	0.43	0.36	0.41
	middle	0.28	0.20	0.24	0.19
	sticky	0.44	0.37	0.40	0.40
Estimated result: Glossiness	glossless	0.43	0.33	0.54	0.44
	middle	0.32	0.12	0.14	0.33
	glossy	0.25	0.55	0.32	0.23

4.3 仮説の検証

「際立ったテクスチャを有する素材は触察行動を誘引する確率が高い」という仮説 1 を検証する。これまでに示した全ての結果がそうであったように、多くの触察行動および触れ方において、推定されるテクスチャの状態が中程度 (middle) である確率は高くない。Table 8 に示すように、素材への触れ方と 6 種のテクスチャの関係においては、6 種すべてがこれに該当する。つまり、テクスチャの際立った素材は、そうでない素材に比べ、特定の触察行動および触れ方を誘引する確率が高く、仮説 1 が支持される。

次に、「誘引される触れ方は際立ったテクスチャの違いに影響される」という仮説 2 を検証する。特定の触れ方を誘引する素材は、Table 9 に示すように、テクスチャが際立っている。さらに、触れ方によって、テクスチャの偏りが異なる。例えば、「push」を誘引する素材は、マクロ粗さが大きく、かつ柔らかい傾向がある。「push」は素材の硬軟を確認するために適した動作である。同時に、マクロな粗さを知覚するためには、表面を指でなぞる必要はなく、押し当てただけで十分であるから、「push」は、マクロ粗さを体験するために適した動作でもある。一方で、「stroke」や「scrub」のような、素材の表面を指でなぞる動作は、マイクロ粗さが際立った素材に誘引されやすい。これらの触察動作は、表面の細かな粗さを確認するために適した動作である。したがって、これらの動作がそのような素材に誘引されることは合理的と言える。「soft touch」は、素材表面を強く押すでもなく、擦るでもなく、軽く触れるという動作であり、冷たく感じられる素材に誘引されやすい。「soft touch」は、素材の熱伝導特性を人間が指で触れて調査するために適しているため、そのような素材との結びつきがあると予想される。以上に示したように、触れ方によって、テクスチャの際立ちが異なる。この事実は、仮説 2 を支持する。

5. 結論

本研究では、触察行動誘引のメカニズムに関する 2 種の仮説を検証した。仮説 1 は、「際立ったテクスチャを有す

る素材は触察行動を誘引する確率が高い」という仮説であり、仮説 2 は、「誘引される触れ方は際立ったテクスチャの違いに影響される」という仮説であった。36 種の素材のテクスチャを、官能評価実験の結果より算出するとともに、参加者が素材に触れる際の行動の特徴量を計測した。これらの特徴量を用いて、ベイジアンネットワークモデルを構築し、確率推定を行った。その結果、際立ったテクスチャを有する素材は触察行動を誘引し易く、また、誘引される触れ方は際立ったテクスチャの違いによって決定されることが明らかになり、仮説の妥当性が示された。

謝辞 本研究に関する議論に参加して頂いている名古屋大学原進氏、秋山靖博氏に感謝の意を表する。また、本研究は文部科学省科学研究費補助金 (課題番号: 24700192) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Nagano, H., Okamoto, S. and Yamada, Y.: Physical and Sensory Factors of Textures that Appeal to Human Touch, *Proceedings of the 4th International Conference on Human System Interactions*, pp. 324–329 (2011).
- [2] Nagano, H., Okamoto, S. and Yamada, Y.: What Appeals to Human Touch? Effects of Tactual Factors and Predictability of Textures on Affinity to Textures, *Proceedings of the 2011 IEEE World Haptics Conference*, pp. 203–208 (2011).
- [3] Klatzky, R. L. and Peck, J.: Please Touch: Object Properties that Invite Touch, *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 5, No. 2, pp. 139–147 (2012).
- [4] Nagano, H., Okamoto, S. and Yamada, Y.: Haptic Invitation of Textures: An Estimation of Human Touch Motions, *Proceedings of the EuroHaptics 2012*, pp. 338–348 (2012).
- [5] Lederman, S. J. and Klatzky, R. L.: Hand movements: A window into haptic object recognition, *Cognitive Psychology*, Vol. 19, pp. 342–368 (1987).
- [6] Peine, W. J., Wellman, P. S. and Howe, R. D.: Temporal bandwidth requirements for tactile shape displays, *Proceedings of the IMECE Haptics Symposium*, pp. 107–113 (1997).
- [7] Kunesch, E., Binkofski, F. and Freund, H. J.: Invariant temporal characteristics of manipulative hand movements, *Experimental Brain Research*, Vol. 78, No. 3, pp. 539–546 (1989).
- [8] Okamoto, S., Nagano, H. and Yamada, Y.: Psychophysical Dimensions of Tactile Perception of Textures, *IEEE Transactions on Haptics*, Preprint available in IEEEXplore. (to appear in 2013, Preprint available in IEEEXplore.).

表 9 触れ方とそれを誘引しやすいテクスチャ

Table 9 Touch modes and properties of textures that are likely to invite touch motions

Touch mode	Properties of texture	Representative materials
Push	Macro Roughness: uneven (55%), Hardness: soft (55%) Warmness: warm (45%)	Fake woven leather, Sponge
Scrub	Micro Roughness: rough (51%), Hardness: hard (57%), Glossiness: glossy (55%)	Performed aluminum, Woven wire mesh
Stroke	Micro Roughness: rough (63%), Glossiness: glossless (54%)	Artificial grass, Coarse woven straw
Soft touch	Warmness: cold (45%)	Satin