

# 凹凸形状と照明方向で変化する陰影のあるテクスチャ画像の質感評価

## Effects of Asperity Shape and Lighting Direction on Qualitative Evaluation of Shaded Texture Images

佐々木康成<sup>†</sup>, 坂東敏博<sup>‡</sup>  
Yasunari SASAKI, Toshihiro BANDO

<sup>†‡</sup>同志社大学

Doshisha University

<sup>†</sup>yasasaki@mail.doshisha.ac.jp, <sup>‡</sup>tbando@mail.doshisha.ac.jp

### Abstract

In this study, we made shaded texture images based on 3D texture model and asked participants to freely express the impression of the texture by means of onomatopoeia. We examined the tactile impression of some pairs of the shaded texture image and its 180 degrees rotated one. As a result, evaluation for most of the texture images that were used in the experiment tended to alter. The result suggests that the difference between the vertical directions of the fine shadow patterns causes some perceptions resulting in a variety of textures feeling like wires, perforations, or spires.

**Keywords** — tactile texture, shading direction, onomatopoeia

### 1. はじめに

人が視覚を通して対象物に質感を感じる時、多くの場合、物体表面の凹凸に当たる照明によって形作られる陰影パターンをどのように知覚するかに依存する[1]。特に、手触りや感触など触感覚の質感は、視覚を介することによっても得られるという点で、対象物表面の陰影パターンのテクスチャが大きな意味を持つと考えられる。

本研究では、物体表面の凹凸と照明によって形作られた陰影のあるテクスチャを陰影テクスチャと呼ぶ(付図参照)。この陰影テクスチャは、二次元画像でありながら、三次元的なテクスチャとして知覚できることから、視覚を介して触覚的な質感が感じられる刺激であると言える。これまで我々は、陰影テクスチャの質感について、参加者の自由記述によるオノマトペの子音の分布を通して調べてきた[2]。その結果、刺激として用いた陰影テクスチャに対して、摩擦感や均質感といった質感を抽出できた。しかし、

同じ陰影テクスチャであっても、陰影の形状、方向、あるいはパターンは、照明の位置、角度、あるいは光量などによって様々に変化する。そこで本研究では、こうした多様な陰影の変化のなかでも、陰影の形状やパターンは変えずに、その上下の方向を変化させたときに、質感印象がどのように変化するのか調べた。

視覚を介した触覚的な質感をもたらす陰影テクスチャ画像は、凹凸の三次元形状とその凹凸に当てられた照明による陰影パターンとしてコンピュータグラフィックスで作成した。陰影の上下方向が異なる陰影パターンは、その陰影パターンと点对称の関係にあるパターンとを一对の画像刺激として用いることにより、陰影パターンの方向がテクスチャの質感印象に与える影響を検討した。また、陰影テクスチャに対する触覚情報は、参加者の表現するオノマトペに含まれる子音が表象しているものと考え[2][3]、オノマトペの子音の分布と対応する質感について調べた。

### 2. 方法

#### 2.1. 実験参加者

日本人大学生 27 名 (男性 20 名, 女性 7 名) が実験に参加し、実験への参加の同意を口頭で得た。

#### 2.2. 刺激

##### 2.2.1. 原画像の選択

Web 上にある様々なテクスチャ画像の中から、1,920×1,080 [pixel]以上の画素数のある画像を画像刺激の原画像として用いた。原画像には、小さな構造の凹凸が画像全体に満遍なくあ

り、おおよそどの部分を切り出して見てもテクスチャパターンに変化がない画像を選択した。これらの原画像は、256階調(8 bit)グレースケール画像に変換して、任意の部分を1,920×1,080 [pixel]に切り出して原画像とした

### 2.2.2. 画像刺激の作成

**三次元テクスチャモデル** 画像刺激は、三次元CG作成ソフトPOV-Ray ver.3.6.2[4]を使用し、グレースケール原画像の濃淡の値(0-254)を高さの値とみなして三次元テクスチャモデルを生成した。これは、POV-Rayによって定義される空間において、空間内に設置した物体表面の凹凸と照明光によって作られる陰影を表現するためであった。このテクスチャモデルは、グレースケール原画像の濃淡情報を高さ情報に置き換えて物体表面の凹凸が表現されるものであり、256段階の高さレベルの情報をもつ。テクスチャモデルを生成する際の凹凸の高さの最大は、画像刺激の横幅の2%相当とした。POV-Rayでの画像刺激作成においては、ambient(環境光に相当)を0.01, diffuse(拡散反射率に相当)を1.0としてPOV-Ray空間に用いた。なお、環境光とは本来、光源の光が物体などによって散乱された間接光のことを指すが、POV-Rayでは、物体にわずかな明るさを与えることによって環境光が表現される。

**レンダリング** 画像刺激は、原画像をPOV-Rayに読み込み、1,920×1,080 [pixel]の平面にテクスチャモデルを設置し、平面の中央へ垂直に1,920 [pixel]の位置から平面中心を見下ろす設定でレンダリングが行われた。その際、テクスチャモデルの平面に対して平面中心から30度の角度を成す点光源が、平面中心から19,200 [pixel]の距離に設置された。加えて、作成した画像の焦点が中央になることを防ぐため、レンダリングでのcameraの設定は正射影とした。

**画像刺激** 本実験では、テクスチャ画像の陰影の方向が上下に反転される効果を検討するため、9枚の画像刺激それぞれについて、点対称

の関係にある(180度回転させた)画像刺激を対応付け、計18枚の評価用の画像刺激を作成した(付図参照)。したがって、上からと下からの照明の陰影テクスチャを一对の画像刺激として分析する。この他に実験参加者の評価練習用画像1枚を作成した。

### 2.3. 装置

実験参加者への刺激提示には、iPad2 (Apple Inc.)を横置きにして全画面表示で使用した。iPad2の画面の大きさは対角9.7 [inch]、パネル解像度は132 [ppi]、画素数は1024×768 [pixel]であった。画像刺激は、実験参加者の前方30cmの位置に置いた。このときの画面の長辺との視角は36度であった。

### 2.4. 手続き

画像刺激の提示は、1枚を1試行として、評価練習用画像刺激に続いて、評価用の画像刺激18枚を疑似ランダムで提示した。試行間隔は、直前に提示された画像刺激の印象を軽減するため、50% (明度値128)灰色画像を5秒間提示した。

画像刺激はそれぞれ1分間提示し、参加者には、画像刺激から受ける質感の印象について、2モーラないし3モーラがそれぞれ2回繰り返されるオノマトペ(例、サラサラ、ポツンポツン、など)で思い浮かぶまま自由に表現するように教示した。書き出すオノマトペの数に制限は設けなかった。

## 3. 結果と考察

画像刺激18枚に対して得られたオノマトペは、全部で1233個、258種類、各画像刺激での平均は68.5個(SD5.4個)、39.9種類(SD5.8種類)、各参加者での平均は45.7個(SD15.8個)、23.7種類(SD9.1種類)であった。また、各参加者の平均回答数は各刺激当たり2.5個(SD1.1個)であった。各画像刺激について得られたオノマトペのうち、任意の画像刺激に対して2個以上の回答のあったオノマトペについて、その回答数を画像刺激毎に付表に示した。

全体として、陰影テクスチャの凹凸形状やその手触りなどを表すと考えられるオノマトペが大半を占めた。

各画像刺激に対して回答のあったオノマトペのうち、その第1モーラの子音について、3人以上から回答のあった12種の子音([k], [s], [t], [n], [h], [m], [g], [z], [d], [b], [p], [zy])の数について、以下の主成分分析の対象とした。分析対象とするオノマトペが回答数全体に占める割合は94.5% (1165個)であった。

各画像で得られた12種の子音の数について主成分分析を行ったところ、第1から第4主成分までの累積寄与率は77.1%であり、それぞれの寄与率は、順に32.0%、21.8%、14.3%、9.0%であった。表1は、各子音の主成分負荷量を示したものである。第1主成分の負方向に[g], [z], [zy]など有声摩擦子音や破擦子音、正方向に[p], [b], [t]など破裂音が分布した。第2主成分では、負方向に[k], 正方向に[m], [h]などが分布した。図1は、第1主成分と第2主成分に対する各画像刺激の主成分得点の分布と各子音の主成分負荷量の固有ベクトルとを重ねて示したものである。奇数と奇数+1がそれぞれ点対称の関係にある一対である。全体として、第1主成分軸に対して、奇数よりも奇数+1の画像刺激の方が左に寄っている傾向がある。これは、[g], [z], [zy]など有声摩擦子音や破擦子音への偏りを示すものであり、画像刺激に対して、摩擦感や抵抗感のある音象徴を示唆する[2][3][5]。点対称の関係に対応付けられた画像刺激対毎で見ても(付図参照)、陰影テクスチャのザラザラとした抵抗感や摩擦感の程度が異なっていることがわかる。

一方、画像刺激#5と#6や#15と#16のように、第1主成分軸に対してほとんど変化のない陰影テクスチャもあった。これらは、上下どちらの画像で見ても、同じような触覚的な質感であることによるものと考えられ、点対称移動によって、凹凸感の反転がほとんど知覚できない陰影テクスチャであると言えるかもしれない。

ただし、以上のような上下方向の照明の違いによる質感変化の有無の傾向は、参加者間または参加者内でも常に一貫するというものではなく、画像の解像度や遠近距離によって多少変化するのである。実際、別の参加者96人に対して、本実験で用いた画像刺激に対するザラザ

表1 各子音の主成分負荷量と主成分寄与率(網掛けは絶対値が0.55以上の主成分負荷量)。

子音	主成分			
	PC1	PC2	PC3	PC4
[k]	0.10	-0.72	-0.15	-0.33
[s]	-0.14	-0.46	-0.70	0.40
[t]	0.59	-0.26	0.68	0.26
[n]	-0.46	0.35	-0.10	0.62
[h]	0.40	0.74	-0.04	-0.16
[m]	0.29	0.83	-0.41	-0.06
[g]	-0.72	-0.05	0.00	-0.25
[z]	-0.83	-0.14	-0.20	-0.35
[d]	-0.52	0.52	0.37	0.03
[b]	0.74	0.26	-0.42	-0.29
[p]	0.74	-0.16	0.26	-0.11
[zy]	-0.66	0.24	0.37	-0.22

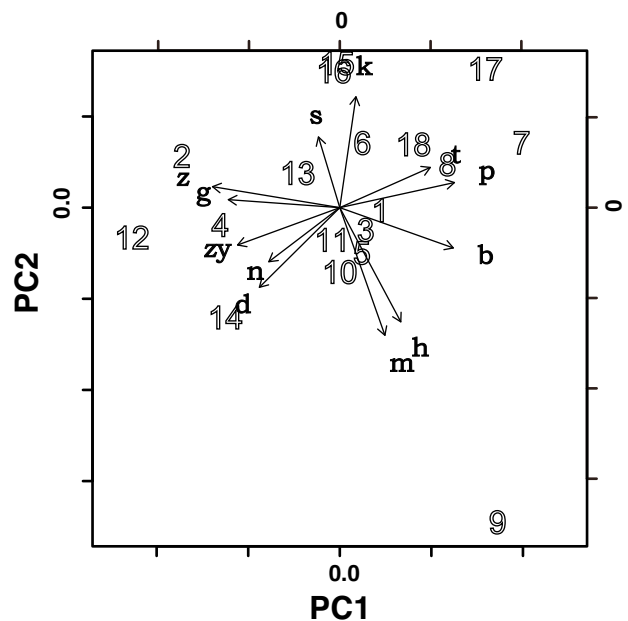


図1 第1主成分(PC1)と第2主成分(PC2)に対する各子音の主成分負荷量をもとにした固有ベクトルと各画像刺激(袋文字は画像番号)の主成分得点との相対関係。画像番号は、奇数と奇数+1とが点対称の関係にある一対である。

ラ感について、一対ごとにその知覚する程度を回答させたところ、距離と視角をもとに視力で標準化してみると、視力と相関するというわけではなく、同じ一対であっても、視力の階級ごとにザラザラ感は異なる傾向を示した。

#### 4. 今後の課題

本研究では、点対称の関係にある陰影テクスチャの画像対における質感の変化に着目したが、一対の点対称な関係にある陰影テクスチャはまったく同じ画像であるので、従来の画像解析[2]とは異なり、上下の方向性を考慮できる解析手法を加えて検討していく必要がある。また、視力を考慮した画像刺激の網膜上での解像度、画面に占めるテクスチャのスケール感や粒度の変化、あるいは新奇性や親近性など記憶や学習による質感の変化など、陰影テクスチャの知覚的、認知的処理の性質について調べていく。さらに、本研究で用いた陰影テクスチャ画像は、原画像の濃淡の変化をテクスチャモデルの凹凸

形状の高さ情報に変換したが、多様な陰影テクスチャを作成して用いるという点では、RGBやHSVなどの色空間情報を用いたり、濃淡反転を原画像で行ったりすることも有用であると考えられる。

#### 引用文献

- [1] Ramachandran, V. S. (1988). Perception of shape from shading. *Nature*, **331**, 163-166.
- [2] 佐々木康成, 鈴木孝典, 坂東敏博 (2011). 陰影のあるテクスチャ画像のオノマトペを用いた質感評価—音韻と画像特徴の関係の統計的分析—. 『認知科学』, **18**, 477-490.
- [3] 早川智彦・松井茂・渡邊淳司 (2010). オノマトペを利用した触り心地の分類手法. 『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』, **15**, 487-490.
- [4] <http://www.povray.org/>
- [5] 河原修一 (2005). 宮沢賢治の心象スケッチにみるオノマトペ (その2). 『金沢大学国語国文』, **30**, 44-57.

付表 任意のテクスチャ画像に 2 個以上の回答のあったオノマトペの各テクスチャ画像に対する回答数 (太字は 3 個以上の回答数).

Onomatopoeia	Texture																		Max	Total		
	#01	#02	#03	#04	#05	#06	#07	#08	#09	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18				
ザラザラ	zarazara	9	17	9	16	12	10	5	4	6	11	7	11	17	1	12	14	8	8	17	177	
ザクザク	zakuzaku		1	2	1			1	1				1	1	13	2			1	13	24	
トゲトゲ	togetoge		2	1	2	2	8	5	12	1	1	4	2	1	2	1	1	1	2	12	48	
ツルツル	turuturu	11		1		1	2	3	3			3	4	2	2		1	7		11	40	
ガリガリ	garigari		9	4	6	7	3		3	3	1	2	3	1	1	2	3	1	3	9	52	
ポツポツ	potupotu			1		1		5	2	2					1			7	3	7	22	
シワシワ	siwasiwa				1							1	1			4	7			7	14	
ツブツブ	tubutubu				1	5	1	7	1	3	2		1		1	1		3	4	7	30	
ドスドス	dosudosu														6					6	6	
スベスベ	subesube	6		1									1						1	6	9	
チクチク	tikutiku		3	2	3	3	5	3	6			1			1				3	6	30	
テンテン	tenten		1	2			1	3	1	2	1				1				5	6	23	
ブツブツ	butubutu		1	1		4	1	5		1	2			1		1		4	4	5	25	
モコモコ	mokomoko	1		3		1				5	2	1								5	13	
ポコポコ	pokopoko							2		2	1								5	1	5	11
テカテカ	tekateka	5				2	1	2	2					2					1	5	15	

付表 (つづき) 任意のテクスチャ画像に 2 個以上の回答のあったオノマトペの各テクスチャ画像に対する回答数 (太字は 3 個以上の回答数).

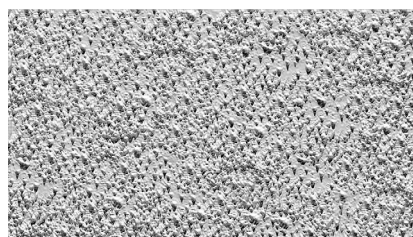
Onomatopoeia	Texture																		Max	Total
	#01	#02	#03	#04	#05	#06	#07	#08	#09	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18		
ボコボコ bokoboko	<b>4</b>	1	1	1	1		1		<b>3</b>	1	2		<b>3</b>	<b>3</b>	2	1	<b>3</b>		4	27
バラバラ barabara	1		<b>4</b>	1		1	1			1	1		1	1	1			2	4	16
ガサガサ gasagasa		<b>4</b>		2	1					2		1		1		2	2	2	4	17
ゴツゴツ gotugotu	1	2	2				1		1			<b>4</b>	1						4	12
フワフワ huwahuwa		1	1		2				<b>4</b>	2	1			1		1			4	13
プツプツ putuputu					2		2										<b>4</b>	2	4	10
サラサラ sarasara	<b>3</b>		1			2				<b>3</b>			<b>3</b>	1	<b>4</b>	1	<b>4</b>	2	4	24
ズルズル zuruzuru		<b>3</b>	2			1							<b>4</b>					2	4	12
ギシギシ gisigisi		<b>3</b>								1	<b>3</b>				1			1	3	9
ギザギザ gizagiza		1		1		2		<b>3</b>							1	1		1	3	10
ゴワゴワ gowagowa	1		<b>3</b>	2	1	1			1	<b>3</b>	2	1			<b>3</b>	<b>3</b>	2	1	3	24
クシャクシャ kusyakusya															1	<b>3</b>			3	4
モリモリ morimori									<b>3</b>		2								3	5
サクサク sakusaku	1		1		1	1		1				2	2	2			<b>3</b>		3	14
ザワザワ zawazawa			1	1	<b>3</b>							1	2		1		1	1	3	11
アミアミ amiami										2									2	2
ボロボロ boroboro					1			1	1	2			1					1	2	7
ボワボワ bowabowa									2										2	2
ドサンドサン dosandosan														2					2	2
ガタガタ gatagata	1									2	1		1				1		2	6
ゴリゴリ gorigori		2	1	1				1				2		1	1	1	1	1	2	12
ゴソゴソ gosogoso	2				1	1				1					1				2	6
グシャグシャ gusyagusya															1	2			2	3
グワグワ guwaguwa			1								1	2							2	4
イガイガ igaiga				1			1	2	1										2	5
イライラ iraira		1					1	2		1	1		1			1			2	8
カリカリ karikari			1				1			1		1	2		1			1	2	8
カサカサ kasakasa													2	1	1	1	1	1	2	7
キチキチ kitikiti					1	2													2	3
モフモフ mohumohu									1		2		1						2	4
モクモク mokumoku					1				2										2	3
モワモワ mowamowa			2						1	1									2	4
バリバリ paripari				1				2							2	2			2	7
ベタベタ petapeta	2			1								1						1	2	5
ピンピン pinpin					1	2													2	3
ポロポロ poroporo			1		2					1	1								2	7
プクプク pukupuku					1		2		1										2	4
サワサワ sawasawa				1		1					2		1						2	5
スジスジ suzisuzi										1	1				2	2			2	6
チワチワ tiwatiwa						2		1											2	3
ツンツン tuntun				1		1	1	1											2	6
ワクワク wakuwaku			1	1				1	2	2	1	1							2	9
ズンズン zunzun													2						2	2

## 付図 本実験で用いた評価用画像刺激と画像番号

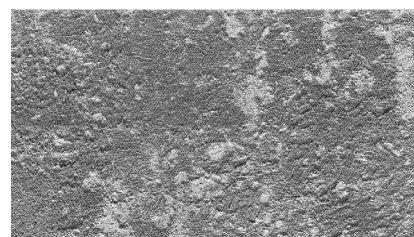
#01



#07



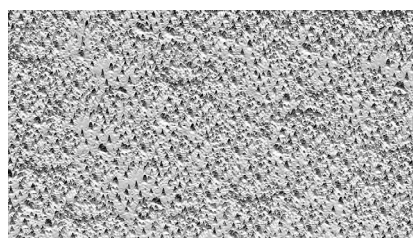
#13



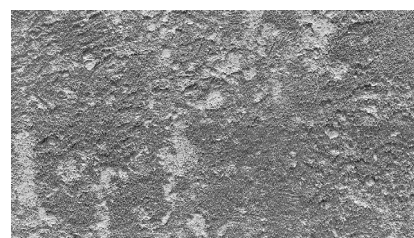
#02



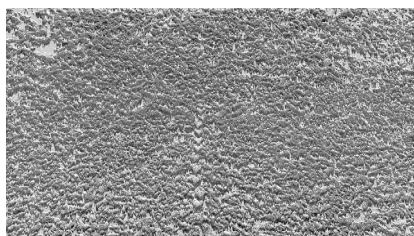
#08



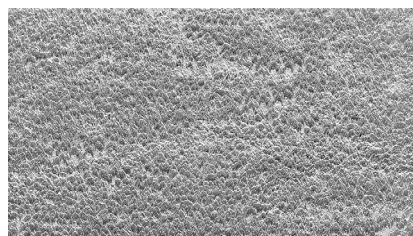
#14



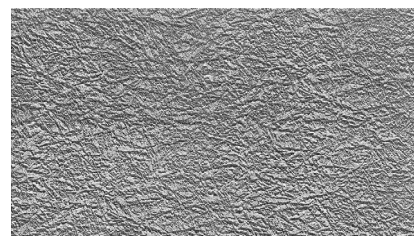
#03



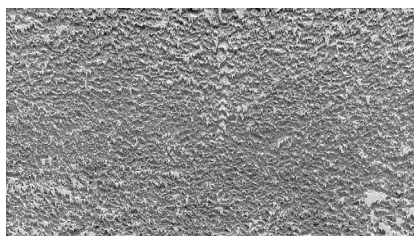
#09



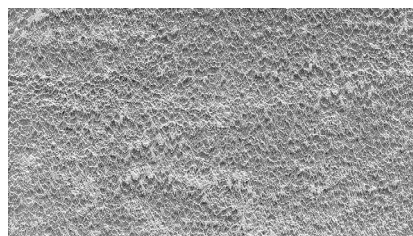
#15



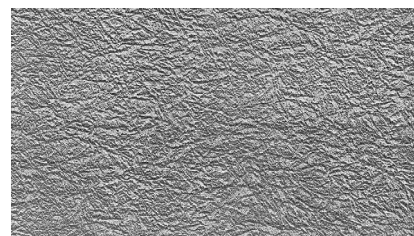
#04



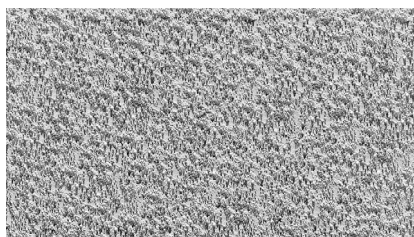
#10



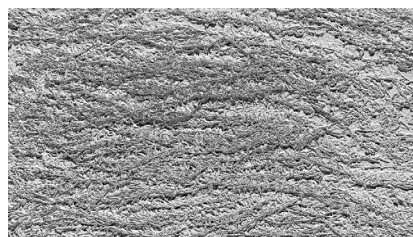
#16



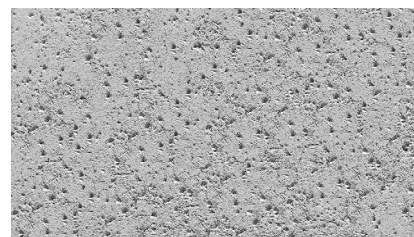
#05



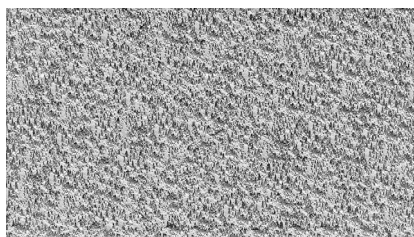
#11



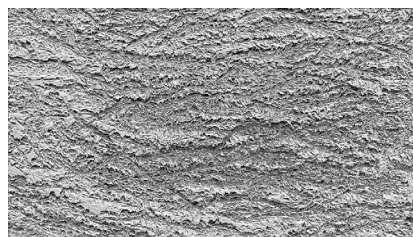
#17



#06



#12



#18

