

肌理上の水染み現象に肌理の空間周波数成分が及ぼす影響

澤山 正貴 ***・木村 英司 ***

* 千葉大学 大学院融合科学研究科

** 日本学術振興会特別研究員

*** 千葉大学 文学部

〒 263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33

m.sawayama@graduate.chiba-u.jp

1. はじめに

視野内の輝度変化は外界のさまざまな要因によって生じうるにもかかわらず、われわれはその原因を適切に特定することができる。例えば、ある領域が周辺よりも暗い場合、その輝度変化が影によるのか、低反射率の物体によるのかは容易に特定できる。こうした知覚の基礎として輝度エッジ（輝度の異なる領域間に生じるエッジ）の解釈が重要であり、輝度エッジが照明強度の変化と反射率の変化のどちらにより生じたのかを特定するために、さまざまな手がかりが使われることが知られている¹⁾。このうち、エッジのぼけとエッジをまたいだ肌理の連続性は、輝度エッジが照明の変化により生じたとの解釈を促進する手がかりとなる¹⁾。しかしながら、この2つの手がかりを組み合わせ、肌理上にぼけた輝度エッジをもつ領域を配置すると、影とし

て知覚されるのではなく、水が染みたような反射率の異なるものとして知覚されることをわれわれは発見した（肌理上の水染み現象²⁾、図 1a, b）。水染み現象が生じるということは、輝度エッジの解釈過程における各手がかりの処理に、複雑な相互作用が存在することを意味している。そこで、この現象生起の基礎となるメカニズムを検討し、輝度エッジの解釈過程の理解を深めることを本研究の目的とした。

われわれのこれまでの研究によれば、肌理の種類によって水染み現象の生じ方は異なる²⁾。例えば、タタミや大理石のようなパターンの肌理上にぼけたエッジの領域を配置すると水染み現象が生じるが（図 1a, b）、図 1c のようなチェッカー刺激では、水染み現象は生じなかった。こうした現象の生じ方の違いに関しては、肌理の質的な違いが原因であるとも考えられるが、チェッカー刺激だけが粗い空間特性を持つ

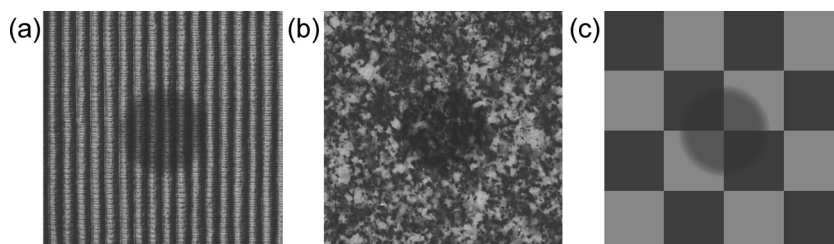


図 1 肌理上の水染み現象. タタミパターン (a) や大理石パターン (b) の上にぼけた輝度エッジをもつ暗い領域を配置すると、水が染みたように知覚される。ただし、チェッカー刺激 (c) 上では、同様の領域が影のように知覚される。タタミパターンと大理石パターンの元画像は Olmos & Kingdom (2004)³⁾ より得た。

ていたことから、空間周波数のような量的な違いによって説明できる可能性もある。そこで、本実験では、肌理の空間周波数の観点から肌理上の水染み現象について検討した。

2. 実験 1

チェッカー刺激の空間周波数を操作し、水染み現象の生じ方について検討した。

2.1 方法

装置 刺激は Matlab7.1 および Power Mac G4 によって作成・制御し、CRT モニタ (TOTOKU CV 921X, 1280×1024 pixel, 100 Hz) に呈示した。また、観察距離が 57 cm となる位置にあご台を設置した。

刺激 さまざまな空間周波数のチェッカー刺激と一様な面刺激を用い、その中心部分を周辺よりも低い輝度に設定した。エッジに関しては、ぼけた条件 (ぼけ幅が 20' と 40') とシャープな条件 (0') を設けた。空間周波数に関しては、水染み現象の生じないことが先行研究で確認されている粗いもの (チェッカー刺激の明暗を 1 周期とした場合の空間周波数が 0.17 c/d, 図 1c) から細かいもの (8.33 c/d) まで 7 段階とした。

中心領域の設定は現実の照明の変化を模した形で行い、RMS コントラストを周辺領域と同じ 0.77 に設定し、平均輝度は周辺領域の 9 cd/m² に対して 3.6 cd/m² に設定した。

手続き 各刺激を単独で提示して、照明変化と反射率変化のそれぞれについて確信度評定を被験者に求めた。前者では、中心領域と周辺領域の見えの違いが影や透明面のような照明変化として見える確信度を 5 段階で評定させた。後者では、中心領域と周辺領域の見えの違いが染みのような反射率の変化として見える確信度を 5 段階で評定させた。

2.2 結果と考察

図 2 に、被験者間で平均した各刺激条件に対する評定値を示す。実験の結果、エッジのぼけた条件 (20' と 40') では、中程度の空間周波数 (0.5 から 2 c/d 辺り) において、照明変化の評定値が下がり (図 2a)、反射率変化の評定値が

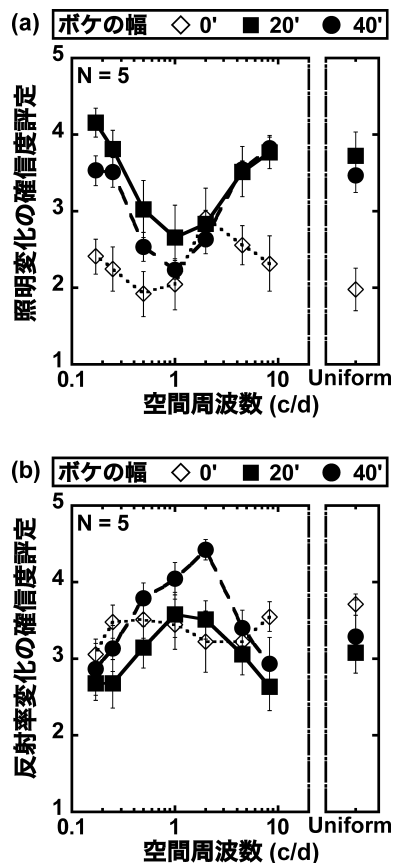


図 2 実験 1 の結果. (a) 照明変化の確信度評定, (b) 反射率変化の確信度評定. この図およびこれ以降の図において、誤差棒は被験者間の標準誤差を表す。

高くなった (図 2b). つまり、空間周波数が中程度であれば、チェッカー刺激においても水染み現象が生じた。

以上の結果から、肌理の種類による水染み現象の生じ方の違いは、肌理に含まれている空間周波数成分のような量的な違いによって説明可能であり、特に中程度の空間周波数が現象生起に重要である可能性が示唆された。もしこの説明が正しいとすると、さまざまな肌理刺激から中空間周波数成分だけを取り出した場合、どのような肌理であっても水染み現象が生じると予測される。実験 2 では、この仮説を検証した。

3. 実験 2

異なる肌理パターンから中空間周波数成分だ

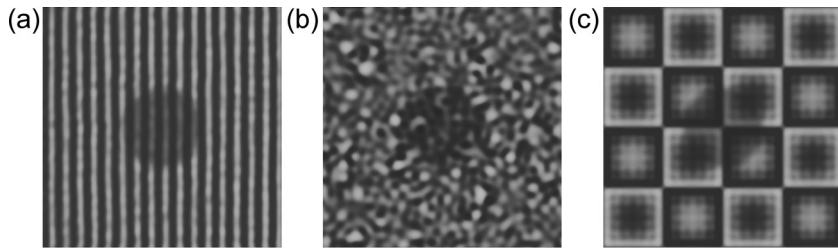


図3 実験3の刺激例. 中空間周波数成分だけを抽出したタタミパターン (a), 大理石パターン (b), チェッカーパターン (c) にぼけた輝度エッジをもつ領域を配置した.

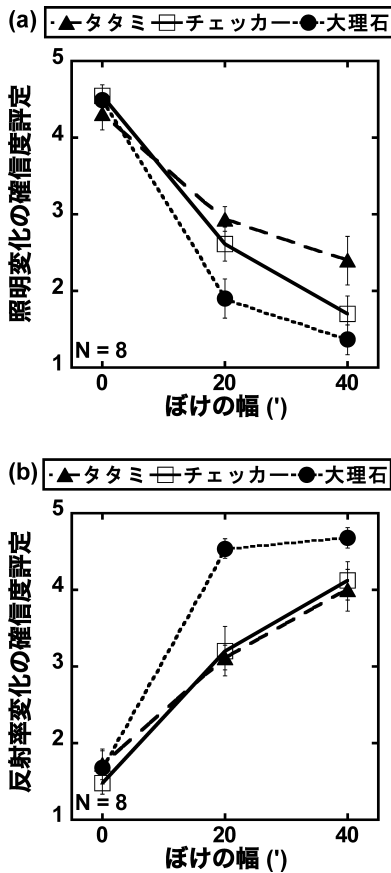


図4 実験2の結果. (a) 照明変化の確信度評価, (b) 反射率変化の確信度評価.

けを抽出し, 水染み現象について検討した.

3.1 方法

水染み現象が生じることが確認されているタタミパターンと大理石パターン (図 1a, b), そして, 現象が生じないことが確認されている粗いチェッカーパターン (図 1c) をそれぞれフー

リエ変換によって空間周波数成分に展開し, 0.5 から 2 c/d までの周波数成分のみを含む刺激を作成した. そして, 実験 1 と同様に, 刺激の中央部分を低輝度に設定し (図 3), 2 種類の確信度評価実験を行った. そのほかの方法は実験 1 と同様であった.

3.2 結果と考察

図 4 に, 被験者間で平均した各刺激条件に対する評価値を示す. 実験の結果, 0.5 から 2 c/d の空間周波数のみを抽出すると, どの肌理刺激であっても, エッジをぼかすと照明変化の評価が低く (図 4a), 逆に, 反射率変化の評価は高くなっており (図 4b), 水染み現象が生じている. これらの結果は, 肌理の中空間周波数成分が現象の生起にとって重要であるという仮説と一貫する.

4. 実験 3

実験 3 ではエッジのぼけ幅を大きく変え, 水染み現象の生起に重要となる肌理の空間周波数成分がエッジのぼけ幅に依存するの否かを検討した.

4.1 方法

0.5 から 2 c/d の中空間周波数成分を抽出した大理石パターン (図 3b) を用い, 検査領域のエッジのぼけ幅を 0' から 120' までの 4 段階に設定した. そのほかの方法は実験 1, 2 と同様であった.

4.2 結果と考察

エッジがぼけている条件では, ぼけの幅によらず強い水染み現象が生じた (図 5). また, 空間周波数成分を操作していない大理石パターン

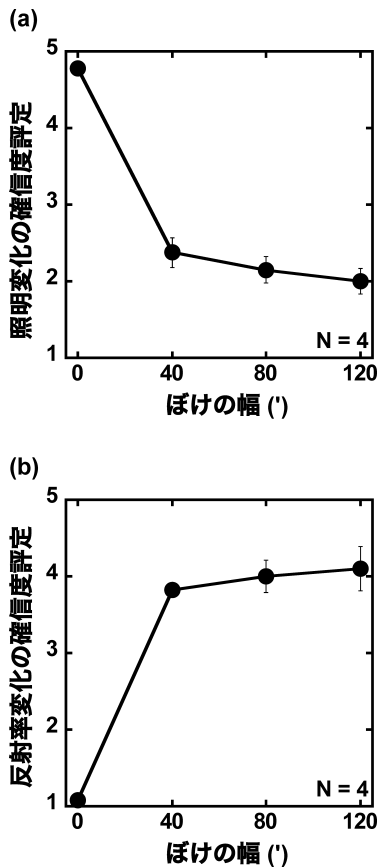


図5 実験3の結果. (a) 照明変化の確信度評定, (b) 反射率変化の確信度評定.

を用いても、同様の結果が得られた。以上から、エッジのボケ幅にかかわらず、肌理が中空間周波数成分を多く含むことが現象の生起に重要であることが示唆された。

5. 総合考察

本研究では、肌理上にぼけた輝度エッジをもつ領域を配置すると水が染みたような反射率変化の知覚が生じるという肌理上の水染み現象に関して、肌理の空間周波数成分に焦点をあてて検討した。その結果、この現象の生起のためには肌理が中空間周波数成分を強く含むことが重要であり、それ以外の空間周波数成分が強いと、ぼけた輝度エッジは照明変化によるものと知覚されることが明らかとなった。また、この現象生起のためには、輝度エッジはぼけて

いる必要があるが、そのぼけの幅は重要ではない。以上の結果は、エッジと肌理それぞれの空間処理の相互作用によって輝度エッジの解釈のされ方が変わること示すとともに、この相互作用において、特に重要な役割を果たしているのは肌理の空間周波数処理であるということを示唆している。

本研究の結果のみからは、肌理の中空間周波数成分に基づいて具体的にどのような処理がなされているのかを特定することはできないが、現在のところ、われわれは以下のように考えている。まず染みにおいては、その内側と外側で物体表面の肌理が連続していることが普通であるので、反射率変化でありながらエッジをまたいで肌理の連続性が成立することが多く、しかも、エッジもぼけやすいという影に似た物理特性を持っている。このため、肌理の連続性とエッジのぼけの手がかりだけでは染みと影を区別することは難しい。しかし、本研究の確信度評定でも示されたように、染みと影は現象的には容易に弁別可能である。現象的観察によれば、両者の本質的な違いは、影は投影された面とは別のものとして影の成分だけを切り分けることが可能であるが、染みは面になじんで面から切り分けることができないように知覚される点にあると考えられる。これが正しければ、この領域の切り分けのための手がかりが肌理の中空間周波数帯域に含まれている可能性があり、この点についてさらなる検討が今後必要とされる。

文 献

- 1) F. A. A. Kingdom: Perceiving light versus material. *Vision Research*, **48**, 2090–2105, 2008.
- 2) 澤山正貴, 木村英司: 輝度勾配手がかりによるエッジの解釈に肌理が及ぼす効果. *Vision*, **23**, 73–74, 2011.
- 3) A. Olmos and F. A. A. Kingdom: A biologically inspired algorithm for the recovery of shading and reflectance images. *Perception*, **33**, 1463–1473, 2004.