



Title	An Upward-Facing Surface Appears Darker: The Role Played by the Light-From-Above Assumption in Lightness Perception
Author(s)	小林, 勇輝
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/76333
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (小林 勇輝)	
論文題名	An Upward-Facing Surface Appears Darker: The Role Played by the Light-From-Above Assumption in Lightness Perception (上向きの面は暗く見える：上方光源の仮定が明度知覚において果たす役割)
われわれは白いシャツを見たとき、そのシャツが太陽の下にあらうと、暗闇の中にあらうと、それが白いと知覚することができる。当然ながらシャツに当たる照明の変化によって、シャツから目に届く光の量 (i.e., 輝度: luminance) は大きく変化するが、それに依存することなく、我々の視覚システムは物体表面の白黒濃淡 (i.e., 明度: lightness/reflectance) をおおむね正しく知覚する。物体に注ぐ照明もまた、人間が直接知ることのできない情報であるため、人間がどういった情報・処理に基づいて物体の明度を知覚しているかということは、視覚科学における長年の謎として、多くの研究によって取り組まれてきた。 この研究に対するこれまでのアプローチは、大きく3つに分けられる (Adelson, 2000)。一つは、視覚刺激中の低次情報をもとにした低次レベルアプローチである。主なものとして対象領域とその周辺のコントラストに着目する理論 (e.g., Wallach, 1948; Land & McCann, 1971; Rudd, 2013) や、空間周波数に着目する理論 (e.g., Blakeslee & McCourt, 1999; Shapiro & Lu, 2011)がある。これらは生理学的な知見とも親和性が高く、また、明度という基礎的な視覚情報を低次の処理で説明しようと試みる点で直観に即しており、広く受け入れられてきた。しかしながらこのアプローチは2次元画像における明度知覚の説明に終始しており、奥行きが明度に与える影響を説明できなかった (e.g., Gilchrist, 1977; Radonjić & Gilchrist, 2013; Zavagno et al., 2011)。 このことを踏まえ、奥行きや群化といった、より複雑な情報・内的処理を含めた考え方として、中次レベルアプローチも主流である (e.g., Adelson, 2000; Bressan, 2006; Economou et al., 2007)。視覚情報を群化する過程の不明瞭さなどという不足点もあるものの、Gilchrist et al. (1999) によるアンカリング理論は中次レベルアプローチの代表的なものとして、現在明度知覚理論の中で最も広く受け入れられた理論のひとつである。 これらとはまた異なった視点として、照明の知覚による直接の影響や、経験・知識の役割を考慮する高次レベルアプローチも存在する (e.g., Boyaci et al., 2003; Zavagno et al., 2018)。しかし、照明の知覚や経験の影響に関しては反論もあり (Gilchrist, 2018; Firestone & Scholl, 2016)、いまだこのアプローチから具体的な理論の形成には至っていない。以上のような異なる視点・考え方に基づいたさまざまなアプローチがこれまでになされ、明度知覚に影響を与える要因として多くの要素があげられてきた。 本研究では、逆さにすることによって明度が変わって見える面の画像を作成した。面が上向き（上からの光が当たる向き）のとき、下向きの面よりも暗く見える画像であった。これは、従来の研究で指摘されてきた明度知覚の要素では説明できない現象であり、新たな錯視であると考えられた。第2章では、心理物理実験からこの錯視現象を量的に測定し、その存在を確認した。画像中に含まれる面のエッジを取り除き、両眼立体視によって画像を提示する実験を行ったが、これによっても同様の錯視が確認された。この現象は、「光は上から来る」という上方光源の仮定によって引き起こされる錯視と考えられた。すなわち、上方光源仮定により、より強い照明環境が想定される上向き面に対しては、より強い照明の差し引きが行われるため、明度が暗く知覚される。この仮定は、これまで三次元形状知覚の文脈で議論されてきたものであったが (e.g., Ramachandran, 1988)、本研究により、同様の照明仮定が明度知覚の過程においても働くということが確認された。 第3章では、第2章での実験を拡張させ、面の向きによる知覚明度の変化パターンを調べた。上述	

の錯視効果が照明の仮定に基づくのであれば、面の向きを下向きから左向き、上向き、右向きへと 360 度回転させていったとき、回転角度に対する知覚明度はおおむね U 字型のグラフを為して変化していきはらずである。実験の結果は予想に沿った U 字型となり、正弦波とフォンミーゼス分布の畳み込みによって算出された理論値がよくフィットした。これらの結果は、面の向きによる錯視が照明仮定によるものであることを改めて示すと同時に、仮定された照明の表象の方向や拡散性を知る手がかりとなるものであった。

第 4 章では、このようにして得られる照明表象の方向を利用して、「明度知覚に用いられる照明表象と、形状知覚に用いられる照明表象は共有されているか、独立か」を調べた。先行研究 (Andrews et al., 2013) を踏襲した形状知覚の課題と、それを応用した明度知覚の課題をすべての実験参加者が行い、参加者それぞれから、形状知覚に用いられる照明表象の方向と明度知覚に用いられる照明表象の方向を算出した。結果として、形状知覚の照明表象が強い左寄り傾向を見せる一方で、明度知覚の照明表象はほぼ左右のずれがないということが明らかとなり、両表象の独立性が示された。この結果はヨーロッパ言語を第一言語とする参加者においても同様に再現され、書字方向とは関係なく観察される差であることも明らかとなった。

本研究で発見された面の向きによる明度錯視は、これまでの知見からは説明できない新たな錯視現象であったが、これまでの明度知覚研究に照らしたとき、いずれのアプローチと最も親和性が高いだろうか。まず、照明仮定によるこの効果は、画像中の三次元的な構造に基づいて起こる現象であること、また画像の倒立によってコントラストや空間周波数といった情報には一切変化が起こらないことから、低次レベルアプローチとは一線を画すものと考えられた。また、今回の結果は、照明の知覚による効果を示唆するものであったため、高次レベルアプローチとの親和性が高いことが想像されたが、照明知覚と明度の関連を調べたこれまでの研究とは異なり (e.g., Boyaci et al., 2003; Pont & Koenderink, 2007)、本研究では外的に照明の情報を与えておらず、本成果は内的な照明情報に依存した効果と考えられた。ゆえに、照明の影響としてこれまでに論じられた研究とは異なる文脈として本成果は位置づけられる。また、形状知覚の照明表象は経験の効果を受けることが知られているが (e.g., Thomas et al., 2010)、今回の研究では、明度知覚における照明表象は形状知覚における照明表象とは独立のものであることが示されており、明度知覚の照明表象が経験や訓練の効果を受けるかどうかはいまだ定かではない。これらのことから、面の向きの効果を高次レベルアプローチに帰属するには拙速であると考えられた。現状得られているデータからは、面の向きの効果は中次レベルアプローチとの親和性が高いと思われる。今後の研究により経験の効果などが調べられていくことで、本成果と先行研究との関係性がより明らかになっていくだろう。

中次・高次のアプローチは、低次アプローチに比してより広範な錯視現象を説明できる一方で、その明度処理過程の記述は抽象性が高い。低次アプローチは一般に数理的な記述をベースとしており、明瞭かつ具体的である。本研究によって示された照明仮定の効果も、今後、その過程のより具体的な説明がなされる必要があるだろう。近年はベイジアン知覚の理論や Classification image などといった手法により、比較的高次の情報処理と高度な数理解析を掛け合わせた研究も行われている (e.g., Allred & Brainard, 2013; Murray, 2011)。これらの研究を中心に、本研究の成果も含めたこれまでのアプローチが統合され、明度知覚の謎が解き明かされていくことが今後期待される。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (小 林 勇 輝)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	森川 和則
	副 査	教 授	入戸野 宏
	副 査	教 授	篠原 一光

論文審査の結果の要旨

人間の視覚は、照明条件が大きく異なっても物体表面の白黒濃淡（i.e., 明度: lightness/reflectance）をおおむね正しく知覚できる。例えば月明かりの下で見る白い紙から反射されて目に入力される光のエネルギー量は日光の下で見る黒い紙の場合より遥かに少ないにも関わらず、前者は白く見え後者は黒く見える。人間の視覚システムがどのような情報・処理に基づいて物体の明度を知覚しているかという問題は、視覚心理学におけるの初期から長年にわたり、極めて多くの研究によって取り組まれてきた。

本論文は、この基礎心理学の王道、基礎研究の根幹とも言えるオーソドックスな研究テーマに斬新な方法で果敢に取り組んでいる。まず、上下を逆さまにするだけで明度が異なって見える新しい錯視図形を開発し、それを用いて実験1-1, 1-2, 1-3では「上向きの面が暗く知覚される」という錯視現象が、人間の視覚システムの持つ「光は上から来る」という上方光源の暗黙仮定によって引き起こされることを実証した。

実験2は上記の実験を拡張させ、面の向きを小刻みに360度回転させていき知覚される明度を測定した。その結果は仮説に沿ったU字型となり、正弦波とフォンミーゼス分布の畳み込みによって算出された理論値がよくフィットしたことから、上方光源仮定説が支持された。

実験3-1, 3-2では、凹凸形状知覚の課題と、明度知覚の課題を同じ実験参加者に行わせることで、形状知覚に用いられる照明表象の方向と明度知覚に用いられる照明表象の方向を算出した。結果として、形状知覚の照明表象が強い左寄り傾向を示す一方で、明度知覚の照明表象はほぼ左右のずれがないということが明らかとなり、明度知覚に用いられる照明表象と、形状知覚に用いられる照明表象は独立であることが示唆された。この結果はヨーロッパ言語を第一言語とする参加者においても同様に再現され、書字方向とは関係なく観察される差であることも明らかとなった。

以上の実験結果を総合して申請者は、向きの異なる面の明度知覚に対する照明の影響は視覚システムの低次レベルでもなく高次レベルでもなく中次レベルで生じていると考察している。

長い歴史のある明度知覚の問題は「やりつくされた」領域であるので、新しい研究を生み出すことが難しい。それにもかかわらず申請者は自ら発見した斬新な錯視現象を用いて、明度知覚を規定する新たな要因を実証した。その知見をさらに形状知覚との比較や文化間比較にまで発展させた本論文は理論的一貫性、論理的緻密さ、方法論的拡張性の面で極めて優秀である。また、申請者の英語執筆能力も非常に高い。実際、この博士論文の実験1-1, 1-2, 1-3は既に著名な査読付き国際学術誌Perception（Scopusに掲載されている）にて出版済みである。実験心理学に大いに貢献できる独創的な研究であり、国内・国外で高く評価されている。博士論文の残りの実験も近日中に英語論文として投稿する予定であり、最終的にアクセプトされる可能性が高いと考えられる。

以上の論文審査の結果、本論文は博士（人間科学）の学位を授与するにふさわしいと判定した。