



Title	イメージによる暗順応効果の心理物理関数にもとづく評価
Author(s)	廣瀬, 健司
Description	改訂.
Relation	若手イメージ研究者のためのブラッシュアップセミナー (Brush up seminar for young researchers on mental imagery). 2013年3月16日 (土) ~17日 (日). 北海道大学学術交流会館, 札幌市.
Citation	若手イメージ研究者のためのブラッシュアップセミナー予稿集, 40-45
Issue Date	2013-03-14
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/52529
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	conference paper
File Information	hirose.pdf



イメージによる暗順応効果の心理物理関数にもとづく評価

○廣瀬健司

(北海道大学大学院文学研究科)

キーワード：心的視覚イメージ，暗順応，心理物理関数

目 的

心的視覚イメージ（以下、イメージと略記）と低次の視覚が処理過程を共有していることを示唆する行動的（e.g. Freyd & Finke, 1984），および生理的（e.g. Mohr, Linder, Linden, Kaiser, & Sireteanu, 2009）データが，多くの先行知見において報告されている。Hirose (2011) の研究では，視覚の最も低次の処理の1つである，明るさの処理でさえも，処理過程が共有されている可能性が示されている。Hirose は，無彩色の刺激のイメージ（以下，明るさイメージと呼ぶ）を生成・維持することで，明るさ知覚によって暗順応が起こった場合と同様に，視感度が上昇することを示唆した。本研究では，Hirose の実験結果に心理物理学的な分析方法を適用し，明るさイメージの効果と，知覚による暗順応の効果の類同性について，より詳細に検討した。

Hirose の研究では，明るさの弁別課題に対する明るさイメージの効果が調べられた。実験1の統制条件では，輝度一定の標準刺激と，複数の輝度水準が設定された比較刺激との，明るさの弁別課題が行われた。イメージを形成する条件（以下，イメージ条件と略記する）では，事前に提示される手がかり刺激のイメージを生成・維持しながら，統制条件と同じ課題を行うことが求められた。標準・比較刺激の正弁別率を指標とした分析の結果，イメージを容易に生成・維持できたと報告した群（以下，イメージ容易群と略記する）では，イメージ条件のほうが統制条件よりも有意に正弁別率が高いことが示された。イメージの生成・維持が困難であり，繰り返しイメージを生成し直したと報告した群（以下，イメージ困難群と略記する）では，逆に，イメージ条件のほうが統制条件より

も有意に正弁別率が低かった。Hirose は，イメージ容易群の結果を，明るさイメージが比較的安定的に生成・維持されたために暗順応が起こり，視感度が上昇したと解釈した。一方，イメージ困難群では，イメージの生成・維持に必要な労力が非常に大きかったため，それが課題への妨害効果になったのだろうと結論づけている。実験2では，イメージを生成する意図無しに，実験1のイメージの手がかり刺激を単に観察した場合は，弁別課題への妨害効果が生じることが示された。これらの実験結果は，明るさイメージを生成・維持することによって，明るさ知覚と同様に暗順応が起こる可能性を示しており，イメージと視覚が明るさの処理経路を共有していることを示唆する。

Hirose は明るさの正弁別率について分散分析を行い，統制条件とイメージ条件の間の有意差にもとづき，イメージの効果の有無を検証した。これは，正答率の条件間の差について検討するという，認知心理学的な研究の一般的な分析方法である。

一方，暗順応による視覚系の反応特性の変化を扱うような，感覚知覚心理学の伝統的な分析方法の1つは，刺激の変数（輝度，コントラストなど）と，それに対する反応の指標（検出率や弁別率など）の対応関係を心理物理関数としてグラフ化し，その変化を見ることである（e.g. Whittle & Swanson, 1974）。これは今日においても採用されている方法である（e.g. Wallis, Baker, Meese, & Georgeson, 2013）。

そのような対応関係についてのデータは，横軸に刺激の変数を，縦軸に反応の指標をとってプロットされる。シグモイド型の形状をなすこのようなデータには，慣習的に，心理物理関数として以

下のような Weibull 関数が当てはめられることが多い (e.g. Treutwein, 1995; Wallis et al., 2013)。

$$y = 1 - e^{-(\frac{x}{\alpha})^\beta}$$

x : 刺激の変数, y : 反応の指標, e : ネイピア数

Weibull 関数は, その係数のうち, α が関数のグラフの位置を表すことが知られており, 大きいほど横軸の正の方向, つまり右側の遠方にあり, 小さいほど, 負の方向, つまり左側の遠方にあることを表す (Fig. 1)。 β は関数のグラフの傾きの指標であり, 大きいほど, グラフの立ち上がりからプラトーに至るまでの横軸の長さが短いことを表し, 小さいほど, その横軸の長さが長いことを表す (Fig. 2)。前者は傾きがより急峻, 後者はより緩やかであると記述される。このようにデータを心理物理関数としてグラフ化することで, 視覚系の反応特性の全体的傾向を把握することができる。

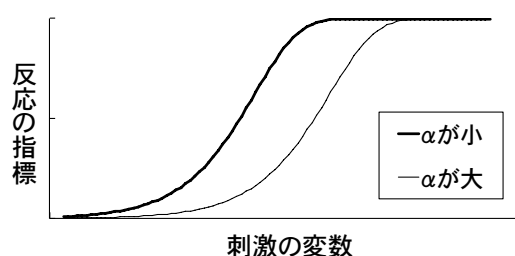


Fig. 1 α の大小と心理物理関数の関係

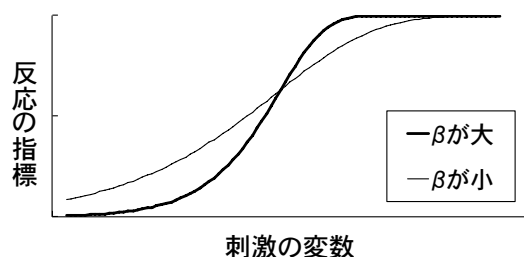


Fig. 2 β の大小と心理物理関数の関係

そこで本研究では, 心理物理関数を導出してグラフの変化について検証するという感覚知覚心理学の伝統的な方法を Hirose (2011) の実験結果に適用し, 明るさイメージが, 知覚の暗順応と類似した効果を生じさせていたかどうかを, Hirose とは別の観点から検証することとした。

得られたデータが Hirose (2011) が指標として用いたような明るさの正弁別率であるなら, それは, 一般に, 横軸に比較刺激の輝度の対数値, 縦

軸に正弁別率をとってプロットされる。視覚システムが, 明順応状態から相対的に暗順応した状態に移行すると, そういったグラフは横軸に沿って左の方向に移動することが知られている (e.g. Whittle & Swanson, 1974)。

心理物理関数の横軸上の位置は, 刺激に対する観察者の感度の指標である (Wallis et al. 2013)。したがって, もし, Hirose の研究において, イメージが知覚と同様の暗順応を引き起こしていたなら, イメージ容易群においては, イメージ条件のほうが, 統制条件よりも α が小さくなるであろう。一方, 関数のグラフの傾きに関しては, 知覚による暗順応の効果をもとに特定の予測を立てることは難しい。ただし, 明るさイメージの研究はまだごく僅かであり, それが関数のグラフの傾きを変化させるなんらかの効果を持つ可能性は否定できないと考え, β も分析の対象とした。

実験 1

方法

実験参加者 19 名が参加した。

刺激 標準刺激としては輝度が 20.55 cd/m² の画像が, 比較刺激としては, 標準刺激と同じ輝度の画像 1 枚と, それよりも輝度の高い画像 17 枚の, 計 18 枚が使用された。イメージする明るさの手がかり刺激 (以下, 手がかり刺激と略記する) としては, 輝度が 4.37 cd/m² の画像が使用された。全ての刺激は同形かつ同サイズ (視角が縦 6°, 横 8°), 無彩色であり, 輝度分布は空間的に一様であった。また, 暗室内の同一の位置に提示された。

手続き 実験中, 参加者は, 常に片方の眼に覆いをし, 露出した方の眼で刺激の観察や課題を行った。統制条件では, 標準刺激が提示された後, いずれか 1 つの比較刺激が提示され, 比較刺激が標準刺激と同じか, あるいはより明るいかを報告することが求められた。イメージ条件では, まず, 手がかり刺激が提示された。実験参加者は, これをイメージできるようになるまで, 統制条件で課

題を行ったのは別の眼で観察した。次に、対側の眼で、手がかり刺激をイメージしながら、統制条件と同じ明るさの弁別課題を行った。

結 果

比較刺激に対する標準刺激よりも明るいという反応に 1、同じという反応に 0 を割り当て、同一の比較刺激の明るさについて、それらの数値を試行数分加算し、それを試行数で除して、比較刺激ごとの正弁別率を求めた。実験参加者ごとに、横軸に比較刺激の輝度の対数値、縦軸に比較刺激ごとの正弁別率をとってプロットし、グラフを描いた。このグラフに、KaleidaGraph4.0 (SYNERGY SOFT-WARE) を用いて以下の関数を当てはめた。

$$y = \gamma(1 - e^{-(\frac{x}{\alpha})^\beta})$$

x : 比較刺激の輝度の対数値, y : 正弁別率

なお, γ は、当てはめの精度を上げるという目的のためだけに加えられた係数なので、以下では分析の対象としない。

α について、2 (群 : イメージ容易/困難群) $\times$ 2 (課題条件 : 統制/イメージ条件) の、混合要因の分散分析を行った。その結果、有意な交互作用効果が検出された ($F(1,17) = 24.53, p < 0.001$)。単純主効果の検定を行ったところ、イメージ容易群においては、イメージ条件のほうが有意に α が小さく ($F(1,17) = 4.54, p < 0.05$)、イメージ困難群においては、その逆に、イメージ条件のほうが有意に α が大きい ($F(1,17) = 23.76, p < 0.0005$) という結果が得られた。また、イメージ条件において、イメージ容易群のほうが有意に α が小さいという結

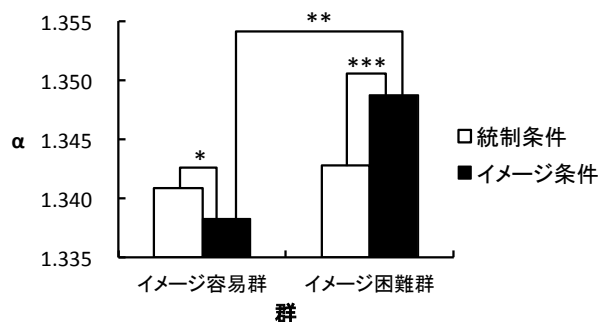


Fig. 3 各群の課題条件ごとの α の結果 (実験 1)
(* $p < .05$, ** $p < .005$, *** $p < .0005$)

果が得られた ($F(1,34) = 11.07, p < 0.005$) (Fig. 3)。

β について、 α と同じ要因計画の分散分析を行ったところ、イメージ容易群のほうが大きいという群の有意な主効果 ($F(1,17) = 11.23, p < 0.005$) と、統制条件のほうが大きいという課題条件の有意な主効果が検出された ($F(1,17) = 4.61, p < 0.05$) (Fig. 4)。

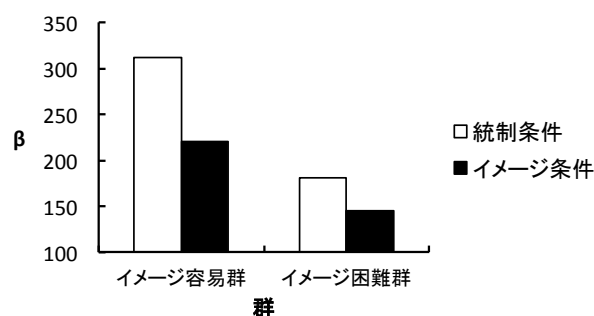


Fig. 4 各群の課題条件ごとの β の結果 (実験 1)

考 察

α について イメージ容易群の結果は、イメージ条件の心理物理関数のグラフが、統制条件に比べ横軸に沿って左方向にあること、つまり、感度が上昇したことを示している。これは、明るさイメージによって暗順応が起こったことを示唆する結果である。一方、イメージ困難群の結果は、容易群と同様に考えれば、明順応が起こったことを示唆していると捉えられるかもしれない。しかし、同じ手がかり刺激をイメージしているにもかかわらず、イメージを安定的に維持することが困難だったがために、イメージ容易群と逆の性質の順応が起こったと考えることは、論理に一貫性を欠くように思われる。したがって、関数のグラフの右方向への移動は、イメージの生成・維持に必要な労力が非常に大きかったことによる正弁別率の低下が原因となって生じたと考えるのが妥当だろう。

β について 群の有意な主効果は、イメージ容易群のほうが、関数のグラフの傾きが急峻であることを示している。この結果は何を表しているであろうか。Hirose (2011) が行ったような明るさの弁別課題では、標準刺激と比較刺激の心理的な差が、ある水準を超えた場合に、それらの弁別が

可能になると考えられる。その水準が実験中常に一定であれば、その水準以下の差にはまったく反応が起こらず、その水準以上の差には常に反応が起こることになり、このような極端な場合には、心理物理関数の立ち上がりは垂直になる。つまり、明るさの差の有無を判断する基準が安定しているほど、傾きは急峻になると考えられる。そのような基準は、なんらかの心的な表象として維持されるものであろう。したがって、イメージ容易群の実験参加者は、困難群と比べ、心的な表象を一定に保つ能力に優れており、そのため、明るさイメージを安定的に維持できたのであろう。

同様に考えると、 β に関する課題条件の有意な主効果は、明るさの差の有無を判断する基準が、どちらの群のイメージ条件でも、統制条件に比べて不安定であったことを示唆している。つまり、明るさイメージを生成・維持しようとする、イメージの見えが保たれるかどうかにかかわらず、明るさの差の有無を判断する基準が不安定になるということである。そうすると、この効果は、イメージの見え、つまり知覚的な属性には直接的には関連しない、イメージに固有の性質が原因となって生じたと考えるべきだろう。そのような性質の1つとして、イメージが内的なノイズを生じさせるということが挙げられる (e.g. Segal & Fusella, 1969)。知覚の分野における、心理物理関数を扱った研究では、そのグラフの傾きが、刺激に負荷されるノイズが多いほど緩やかになることが知られている (e.g. Legge, Kersten, & Burgess, 1987; Ernst & Banks, 2002)。これらの知見を合わせて推定すれば、本実験のイメージ条件で、両群の関数のグラフの傾きが相対的に緩やかになっていたのは、イメージを生成・維持しようとした際に内的なノイズが生じていたことが原因だということになるだろう。Legge et al. (1987) の研究で行われたのはコントラストの検出課題であり、Ernst and Banks (2002) の研究では視覚と触覚を使用した大きさの弁別課題であるから、本実験の結果をそれらの

研究で得られた結果に関連させて解釈するのは危険かもしれない。しかし、それらの知見は、課題や刺激が異なっても、ノイズの混入によって関数のグラフの傾きが緩やかになるという共通した傾向が現れることを示唆しており、本実験の明るさの弁別課題にもとづく関数のグラフも、ノイズによって傾きが緩やかになる可能性を支持することはあっても、否定することはないであろう。したがって、本実験においては、イメージがどちらの群でも内的なノイズを生じさせ、それが関数のグラフの傾きを緩やかにしたと考えるのが妥当であるように思われる。

以上のように、本実験では、明るさイメージを安定的に生成・維持することで暗順応が起こることと、イメージの生成・維持の可否にかかわらず、イメージが内的なノイズを生じさせることが示唆された。また、イメージを含む心的表象を一定に保つ能力が優れているほど、明るさの弁別課題にもとづく心理物理関数のグラフの傾きが急峻になることも示唆された。

ただし、これらの示唆のうち、イメージの効果については、その根拠となる結果が、手がかり刺激を観察したことによって説明されうるかもしれない。イメージ容易群はイメージの生成・維持に大きな労力を要しなかったと推定できるため、もし、イメージの手がかり刺激の観察が課題に促進的な効果を持つならば、それがイメージ条件の正弁別率を全体的に上昇させ、関数のグラフの位置の変化として検出されたと考えることもできる。Pereverzeva and Teller (2005) は、ある刺激の観察によって、網膜以降の処理過程に、その刺激の輝度に応じた順応の状態が生じる可能性を報告している。もし、本実験のイメージ条件でも、手がかり刺激の観察によってそのような順応が起こっていたなら、課題には促進的に作用するであろう。また、手がかり刺激の観察による残効がなんらかのノイズとなり、イメージ条件の関数のグラフの傾きを緩やかにしたということも考えられる。

そこで実験 2 では、本実験で使用された手がかり刺激を、イメージを形成しようとする意図無しに観察した場合の効果の性質を調べた。

実験 2

方 法

実験参加者 12 名が参加した。

刺激 手がかり刺激の提示時間を 4000 ms に固定した点以外は、実験 1 と同様であった。

手続き 統制条件は実験 1 と同じであった。手がかり刺激を観察する条件（以下、手がかり観察条件と略記する）では、一方の眼である刺激を見ることが、反対側の眼を使った明るさの判断に影響を及ぼすかどうかを調べたいという実験の主旨が明確に告げられ、手がかり刺激を単に観察することが求められた。

結 果

実験 1 と同様に α と β を算出し、 t 検定を行ったところ、 α に関しては、統制条件よりも手がかり観察条件のほうが有意に大きいという結果が得られたが ($t(11) = -5.31, p < 0.0005$)、 β には課題条件間に有意差が無かった ($t(11) = 0.61, p < 1$)。

考 察

本実験の結果は、イメージを形成しようとする意図無しに、単に手がかり刺激を観察した場合は、実験 1 のイメージ容易群で見られたのとは逆に、関数が右の方向へ移動することを示している。この結果は、手がかり刺激の観察によって明順応が起こったと捉えることもできるかもしれないが、手がかり刺激は実験で使いたいずれの刺激よりも輝度が低かったため、そのように考える根拠は乏しいと思われる。したがって、手がかり刺激の観察による残効によって、視感度が低下したと考えるのが妥当だろう。例えば、手がかり刺激の観察によって生じた残像が、対側眼でも見えていたという可能性が考えられる。また、実験 1 のイメージ条件で見られたような、関数のグラフの傾きの変化は、本実験では検出されなかった。

このように、本実験の結果は、イメージを形成しようとする意図無しに手がかり刺激を観察したとしても、視感度が上昇したり、関数のグラフの傾きが緩やかになったりすることは無いことを示している。したがって、実験 1 で見られた視感度の上昇やグラフの傾きの変化は、イメージを生成・維持したことによる効果だと言えるだろう。

総合考察

実験 1 のイメージ容易群における α の結果は、イメージによって暗順応が起こり、視感度が上昇していたことを示唆している。一方、実験 2 の α の結果は、イメージを形成しようとする意図無しに手がかり刺激を観察するだけの場合は、関数のグラフが右方向に移動する、すなわち視感度が低下することを示唆していた。したがって、実験 1 のイメージ容易群における視感度の上昇は、明るさイメージを生成・維持したことによって生じた効果だと言えよう。このように、本研究では、イメージと視覚が明るさの処理過程を共有しているという、Hirose (2011) の研究で得られた示唆が、感覚知覚心理学の伝統的な方法で得られた結果によっても支持されることが示された。

また、実験 1 の β の結果から、イメージを一定に保つ能力が優れているほど、関数のグラフの傾きが急峻になることが示唆された。したがって、明るさの弁別課題にもとづく心理物理関数の傾きは、イメージを安定的に保つ能力の指標となりうるかもしれない。

実験 1 の β の結果は、イメージを生成・維持しようすると、その可否に関わらず、内的なノイズを生じさせることを示唆していた。手がかり刺激を単に観察するだけでは、 β は変化しないことが実験 2 で示されている。明るさイメージが安定的に維持されることで暗順応が生じ、一方、維持の可否にかかわらず内的なノイズが生じるということは、イメージの生成・維持過程は、少なくとも 2 つに分けて考えるべきかもしれない。すなわ

ち、イメージの視覚的な見えを生成・維持する過程と、それ以外の過程、例えば記憶の検索といった過程である。イメージに関する先行研究には、イメージが知覚に影響を及ぼすことを報告したものも多い。上記の2つの過程のどちらが知覚に作用したのか、といった視点で、過去の知見を見直す必要があるだろう。

本研究で得られた示唆は、イメージの鮮明度に影響を与えるメカニズムの個人差を明らかにすることにも貢献しうると思われる。D'Angiulli (2002) は、暗順応状況では、明順応状況よりもイメージの鮮明度が上昇するという結果を報告している。これは、イメージの鮮明度が、外的な明るさ情報の入力によって干渉されることを示唆している。したがって、イメージの鮮明度に影響するメカニズムをより精緻に把握するには、明るさの知覚過程への入力に対する堅牢性という観点も必要となろう。本研究におけるイメージ容易群は、明るさの知覚情報とは比較的独立に、明るさの処理過程の状態を変化させることができたと考えられる。よって、本研究で実施した実験の状況において、明るさイメージによる暗順応が起こるかどうか、上記の堅牢性を反映する指標の1つになりうるかもしれない。今後のさらなる研究が望まれる。

引用文献

- D'Angiulli, A. (2002). Mental image generation and the contrast sensitivity function. *Cognition*, **85**, B11-B19.
- Ernst, M. O., & Banks, M. S. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, **415**, 429-433.
- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1984). Facilitation of length discrimination using real and imagined context frames. *American Journal of Psychology*, **97**, 323-341.
- Hirose, K. (2011). Imagery-induced dark adaptation: Psychophysical evidence. *Journal of Mental Imagery*, **35**, 81-96.
- Legge, G. E., Kersten, D., & Burgess, A. E. (1987). Contrast discrimination in noise. *Journal of the Optical Society of America A*, **4**, 391-404.
- Mohr, H. M., Linder, N. S., Linden, D. E., Kaiser, J., & Sireteanu, R. (2009). Orientation-specific adaptation to mentally generated lines in human visual cortex. *NeuroImage*, **47**, 384-391.
- Pereverzeva, M., & Teller, D. Y. (2005). Centering biases in heterochromatic brightness matching. *Vision Research*, **45**, 3290-3300.
- Sakmann, B., & Creutzfeldt, O. D. (1969). Scotopic and mesopic light adaptation in the cat's retina. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, **313**, 168-185.
- Segal, S. J., & Fusella, V. (1969). Effects of imaging on signal-to-noise ratio, with varying signal conditions. *British Journal of Psychology*, **60**, 459-464.
- Treutwein, B. (1995). Adaptive psychophysical procedures. *Vision Research*, **35**, 2503-2522.
- Virsu, V., & Lee, B. B. (1983). Light adaptation in cells of macaque lateral geniculate nucleus and its relation to human light adaptation. *Journal of Neurophysiology*, **50**, 864-878.
- Wallis, S. A., Baker, D. H., Meese, T. S., & Georgeson, M. A. (2013). The slope of the psychometric function and non-stationarity of thresholds in spatiotemporal contrast vision. *Vision Research*, **76**, 1-10.
- Whittle, P., & Swanson, M. T. (1974). Luminance discrimination of separated flashes: The effect of background luminance and the shapes of T. V. I. curves. *Vision Research*, **14**, 713-719.