

## 明度勾配に対する明るさ知覚の確率的遷移

磯部 純司<sup>†</sup> 長 篤志<sup>†</sup> 大高 洸輝<sup>‡</sup> 甲斐 昌一<sup>\*</sup> 三池 秀敏<sup>\*</sup>

<sup>†</sup> 山口大学大学院理工学研究科 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1

<sup>‡</sup> 広島商船高等専門学校 〒725-0231 広島県豊田郡大崎上島町 4272-1

<sup>\*</sup> 山口大学 〒753-8511 山口県山口市吉田 1677-1

E-mail: <sup>†</sup> {u002vm, osaa}@yamaguchi-u.ac.jp

あらまし 明度勾配図形を移動させることで、明暗が強調されて知覚されることがわかっている。本研究では、移動によって強調して知覚された明度が、静止状態の知覚明度に戻るまでの時間分布を測定した。そして、その遷移がどのような情報処理過程で行われているかを推測することを目的とした。実験の結果、時間分布がガンマ分布になることが分かった。明度知覚の処理過程は、多義図形における知覚交代と類似していることがわかった。また遷移確率は分布のピークまでの時間と間に関係性が見られた。

キーワード 明度勾配, 明度知覚, ガンマ分布, 遷移

## Stochastic transition in brightness perception of brightness gradient

Junji Isobe<sup>†</sup> Atsushi Osa<sup>†</sup> Koki Otaka<sup>‡</sup> Shoichi Kai<sup>\*</sup> Hidetoshi Miike<sup>\*</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University 2-16-1 Tokiwadai, Ube City,

Yamaguchi, 755-8611 Japan

<sup>‡</sup> Hiroshima National College of Maritime Technology 4272-1, Osakikamijima-cho, Toyota-gun,

Hiroshima, 725-0231 Japan

<sup>\*</sup> Yamaguchi University 1677-1 Yoshida, Yamaguchi City, Yamaguchi, 753-8511 Japan

E-mail: <sup>†</sup> {u002vm, osaa}@yamaguchi-u.ac.jp

**Abstract** It has already reported that brightness of a moving brightness gradient is perceived more brightly or darkly than when the brightness gradient is stable. In this study, we measured transition times of that the perceived brightness of a gradient returned to the original brightness without moving from the emphasized brightness. The purpose of this study is to estimate the information processing of brightness perception during the transition. Results show that time distributions of the transition were fitted to a gamma distribution well. The result indicates that the transition process of brightness perception is similar to that of perceptual alternation in ambiguous figures. The transition probability related to the time to peak of the distribution

**Keywords** Brightness Gradient, Brightness Perception, Gamma Distribution, Transition

### 1 はじめに

明度知覚は視覚における基本でありながら、その脳内機序に関して不明な点が多い。ここでは、中村<sup>[1]</sup>が2010年に報告した錯視に注目したい。この錯視では、明度勾配図形(図1)を勾配方向に移動させることによって知覚明度に変化する。明度は、黒から白の明度勾配があり、その黒から白の方向へと移動させると、明度は静止状態よりも黒く知覚される。逆に白から黒の方向へ移動させると静止状態よりも白く知覚される。この現象は、移動している物体の輪郭やコントラスト

が強調されるモーションシャープニング現象<sup>[2][3]</sup>の一つとして考えることができるかもしれない。

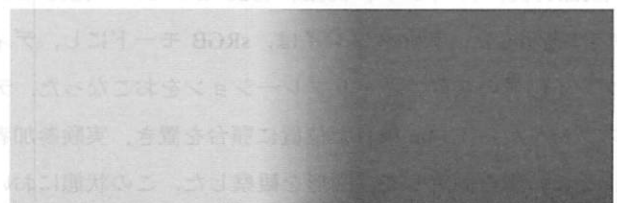


図1 明度勾配図形

本研究では、この錯視における明度強調処理ではなく、移動中に強調され不安定になった明度が、図形が静止することによって安定した明度の見えに回復させる処理の脳内機序に着目する。人の視覚は、どのようにして見えの明るさを安定させているのであろうか。

村田ら<sup>[4][5]</sup>の研究において、多義図形における知覚交代の脳内機序に関する研究がある。村田らは、ネッカーキューブ、ルビンの壺などの多義図形に注目した。そして、その2種類の見えの交代時間、つまりそれぞれが見えている継続時間を測定し、その計測時間の頻度分布をガンマ分布にフィッティングさせた。

ガンマ分布は式(1)で表される。パラメータ  $\alpha$  が自然数のときには特にアールン分布と呼ばれ、単位時間当たり一定の確率  $\beta$  で独立に生起する確率事象が、 $\alpha$  回生じるまでの所要時間の分布である。

$$G_{\alpha\beta}(t) = w \times \frac{\beta^\alpha t^{\alpha-1} e^{-\beta t}}{\Gamma(\alpha)} \quad (1)$$

$$(\alpha > 0, \beta > 0, \Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx)$$

村田ら<sup>[4][5]</sup>は、200回の実験により、 $\alpha$  が 2, 3, 4 の自然数にフィッティングされることが顕著に多いことを示した。そして、見えの状態が遷移するにあたり、脳に離散的な状態があり、 $\alpha$  階層の脳内のネットワークの切り替わりを経て、見えの意識の切り替わりが起こっていることを示した。

本研究では、この村田らの研究を参考に、移動中の強調された知覚明度から静止状態における明度知覚へ戻る時間分布から明度を安定化させる処理における脳内機序に関する推定を行うことを目的とする。

## 2 実験

### 2.1 実験環境

暗室を使用し、光源は刺激を提示するディスプレイのみとした。図1の明度勾配図形をLCDディスプレイ(EIZO, FlexScanT556, 17インチ, 60Hz, 1920ピクセル×1200ピクセル)に提示した。ディスプレイは、sRGBモードにし、ディスプレイ付属の装置でキャリブレーションをおこなった。ディスプレイから1.14m離れた位置に顎台を置き、実験参加者は、そこに顔を固定して、図形を観察した。この状態におい

て、図2の明度勾配部分の横方向の大きさが視角2度であった。

### 2.2 実験参加者

実験参加者は、健康成人の9名(男性8名、女性1名)である。

### 2.3 方法

実験参加者には、たえず明度勾配部の中心を観察するように教示した。ディスプレイには、まずホワイトノイズを3秒間提示した。その後、明度勾配図形が提示された。この提示から1秒後に図形は視角0.4度の幅を1フレーム(1/60秒)で右か左へ移動して表示された。図2の明度勾配条件では、図形が右に動くと勾配部分が明るく知覚され、左に動くと暗く知覚される。そこで、実験参加者は、図形が動いて強調された明度が元の見えの明度に戻ったところでボタンを押した。コンピュータプログラムは、図形を移動させた時刻からボタンを押した時刻の間の時間を測定した。参加者がボタンを押すと、またホワイトノイズが3秒間提示され、上述の手続きが繰り返された。ただし、図形の移動方向は、一度毎に逆向きにした。一人の実験における時間計測回数、参加者が明度知覚を不明だと返答した測定回を除いて、それぞれ350~450回であった。ただし、2名の参加者は1回目の実験時に寝不足のため疲労感を強く感じていたため、後日体調が良い時に2度目の測定を行った。

実験は、参加者の要望に応じて適時休憩を取りながら行った。

### 2.4 結果と考察

時間データから、参加者ごとに0.1秒単位で頻度分布を作成した(図3)。その結果、すべての頻度分布は単峰性であった。参考までに再実験をおこなった2名の疲労時における時間データから頻度分布を作成したとき、それらの分布では、まず通常の状態の参加者では無かった十秒以上の時間における頻度が計測されており、交代時間がとても長い傾向があった。また、頻度分布も多峰性であり、体調が良いときの分布とは全く異なっていた。

すべての頻度分布において、図形が移動した時刻から0.9秒から3.0秒間のまったく頻度の無い時間が存在した。そこで、この頻度の無い時間を、刺激の移動による明度変化時間、強調された見えが継続する時間、そして反応時間を表すもの

と仮定して、分布の立ち上がる 0.1 秒前を 0 秒として明度回復時間の分布を換算した。その際、見えよりも誤って速く押してしまうことを考えて、1, 2 回の頻度は取り除いた。そして、反応のない時間を取り除いた明度戻り時間の頻度分布を、最小二乗法を用いてパラメータ  $\alpha$ ,  $\beta$  を求め、ガンマ分布にフィッティングさせた(図 4)。

各参加者の頻度分布は、正規分布や対数正規分布よりもガンマ分布によくフィッティングした。そして、参加者 9 名の多くにおいて  $\alpha$  が 3, 4, 5 の自然数に近い値になった(表 1)。これらのことから、運動状態の明度知覚から静止状態の明度知覚への交代する時間はガンマ分布で記述できることが確認できた。また明度知覚における明度安定化の脳内機序が、多義図形の見えの交代を知覚した時<sup>[4][5]</sup>と同様に、 $\alpha$  階層の脳内

ネットワークの切り替わりを経ていると推測することができる(図 5)。

フィッティングされた  $\beta$  の値はそれぞれ参加者ごとに違っていた。遷移確率  $\beta$  の違いは何を表すのかを考えなければならない。そこで、 $\beta$  を比較するために  $\alpha$  を 4 という一定値に固定し、ガンマ分布にフィッティングし、他のパラメータを最小二乗法によって求めた(図 6)。 $\alpha$  を 4 に固定しても、ベストフィットさせたガンマ分布と差はほとんどなく、問題ないと判断した。そして、頻度が 0 である時間を除く前の頻度分布グラフにおけるピークまでの時間と、新たに算出した各参加者の  $\beta$  の値を散布図としてプロットした(図 7)。その結果相関係数 -0.70418 の高い負の相関があった。 $\beta$  値が高い、つまり遷移確率が高い参加者ほど分布のピークまでの時間が短

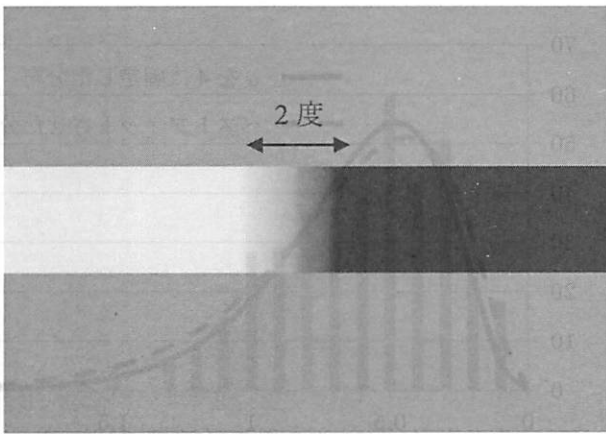


図 2 提示した実験刺激

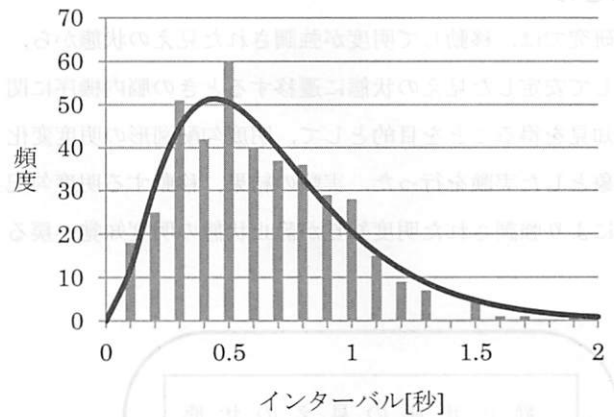


図 4 ガンマ分布にフィッティングさせた頻度分布 (参加者 C)

表 1 各参加者のパラメータ  $\alpha$ ,  $\beta$

参加者	$\alpha$	$\beta$
A	3.99	5.14
B	4.03	3.38
C	3.05	4.63
D	5.19	5.59
E	3.99	2.22
F	2.95	2.71
G	4.98	6.34
H	4.71	5.7
I	4.13	2.24

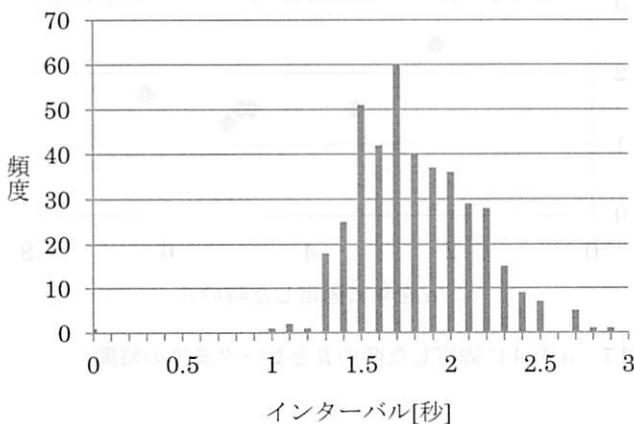


図 3 0.1 秒単位で作成した頻度分布 (参加者 C)

く、遷移確率が低い参加者ほど長い傾向にあった。

また、疲労による影響が頻度分布に大きく影響を及ぼすことが確認できた。再実験をおこなった2名の参加者は、1回目では推移が長時間にわたり、見えの明度が安定し難かった。また、明度が不明瞭になるなどの報告があった(図8)。2回目では体調が良い時に測定し、ガンマ分布にフィッティングできた(図9)。1回目の実験の結果がガンマ分布にならなかったのは、睡眠不足による疲労状態であったことが原因だと考えられる。人間は疲労を感じている時、集中力の低下や、作業のミスが生じる、作業の遂行に関わる部分の機能が低下している。また、疲労は臨界フリッカ周波数にも影響を与えることがわかっている<sup>[7]</sup>。以上のことから、明度知覚の時間分布から得られた $\beta$ の値は、明度知覚に関する脳の処理速度など、その時の脳の状態を反映している可能性があると考えられる。

### 3 まとめ

本研究では、移動して明度が強調された見えの状態から、静止して安定した見えの状態に遷移するときの脳内機序に関する知見を得ることを目的として、明度勾配図形の明度変化を対象とした実験を行った。実験の結果、移動する明度勾配図形により強調された明度知覚が静止状態の明度知覚へ戻る

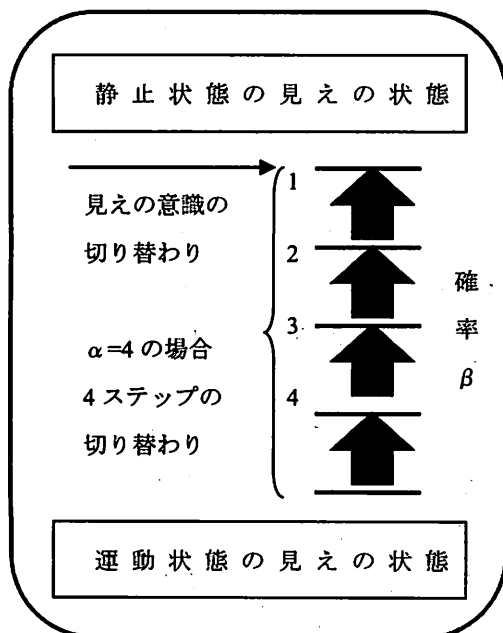


図5 明度知覚における明度安定化の脳内機序

までの時間の分布がガンマ分布になることが確認できた。また、ガンマ分布のパラメータ $\alpha$ が自然数に近い値になった。これにより、明度知覚の安定化のための脳内機序において、多義図形における知覚交代と同様に、離散的な階層を持った処理を行っている可能性が示された。

また、ガンマ分布のパラメータ $\beta$ の個人差について議論した。 $\beta$ の値と見えの安定までの時間に相関関係があり、また精神的に疲労した状態では見えの安定までの時間が長くなる傾向があった。このことから、明度知覚に関する脳の処理速度との関連性がある可能性について指摘した。

謝辞 本研究はJSPS 科研費24240037, 24680009の助成を受けたものです。

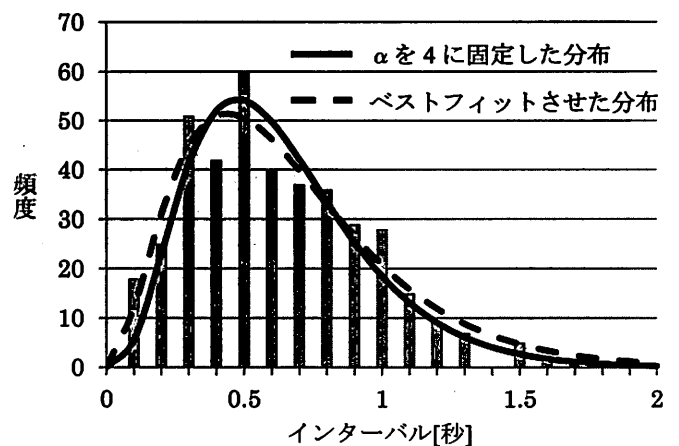


図6  $\alpha$ を4に固定させたガンマ分布(参加者C)

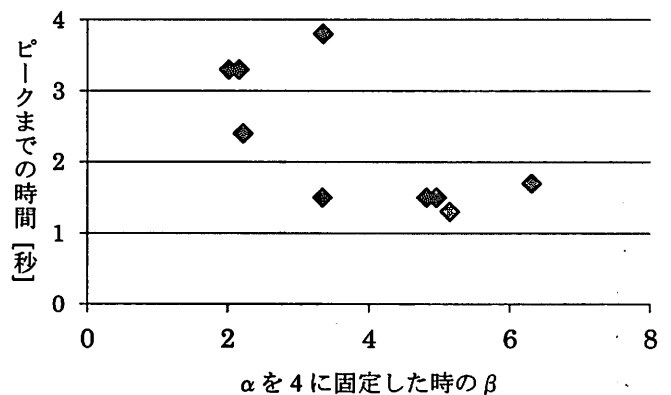


図7  $\alpha$ を4に固定した時の $\beta$ とピークまでの時間

参考文献

- [1] 中村 浩, "明るさグラデーションのある図形の運動方向による明るさの違い," 日本基礎心理学会 第2回錯視コンテスト入賞作品, 2010.
- [2] Ramachandran V.S., Rao V.M., Vidyasagar T.R., "Sharpness constancy during movement perception," Perception, 3(1), pp.97-98, 1974.
- [3] Hammett, S.T., Georgeson, M.A. and Gorea, A., "Motion blur and motion sharpening," temporal smear and local contrast non-linearity, vision Res., 38, pp.2099-2108, 1998.
- [4] 村田 勉, 柳田 敏雄, "視覚的意識のゆらぎの背後にある脳の量子的状態と確率ダイナミクス," 日本神経回路学会誌 Vol.8, No.4, pp.139-146, 2001.
- [5] Tsutomu Murata, "Discrete stochastic process underlying perceptual rivalry," Neuro Report, vol.14, No.10, pp.1347-1352, 2003.
- [6] 水上 直樹, "人間の疲労を測る," 鉄道総合技術研究所, RRR, 65巻, 4号, 2008.
- [7] S.W. Davis, "Auditory and Visual Flicker-Fusion as Measures of Fatigue," The American Journal of Psychology, 64 (4), 1955.

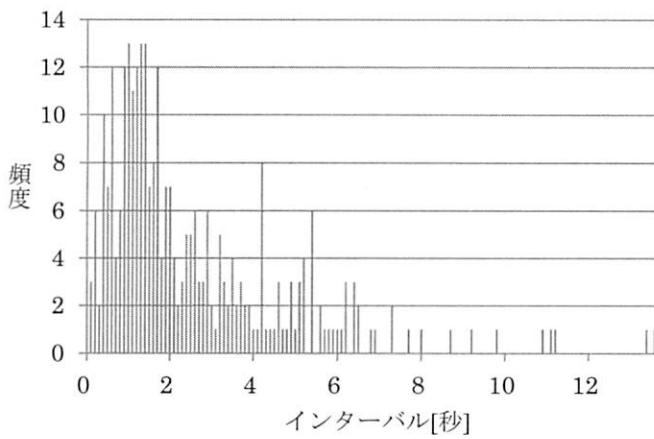


図8 寝不足の参加者の頻度分布(参加者E)

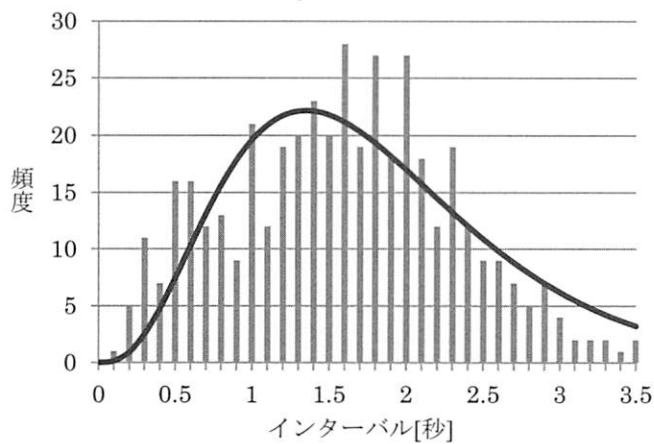


図9 図8の参加者の2度目の計測結果