

輝度とノイズ背景が運動による鮮明化メカニズムに及ぼす影響

久保寺 俊朗・村上 郁也

東京大学大学院 総合文化研究科
〒153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1

1. 序 論

視覚系の時間応答特性は比較的緩慢なため、運動している物体の像はぼけること（モーションブラー）が予想される。通常、視覚系は100 ms 程度の間、網膜に投影された光情報を足し合わせていることが知られている。このような視覚系の時間加算は視覚系の感度を高めるために有効に機能する。しかしながら、物体が運動している場合も時間的に加算されるため、モーションブラーが生じることになる。

ところが、実際に運動している物体がそれほどぼけて知覚されることはない。そこで、視覚系の運動処理にはモーションブラーを抑制する処理があることが示唆されている¹⁾。この処理はモーションデブラーと呼ばれ、運動する物体の正確な位置や形状の認識に役立つと考えられる。

一方で、ぼけた刺激を動かすと鮮明に見えることが報告されている²⁾。動画像の1コマ1コ

マは物理的にぼけているにも関わらず、これらの画像を動画として提示すると、静止している場合と比較して鮮明に知覚される。この現象は動画像に物理的に含まれる画質よりも高い画質の知覚が得られることから、モーションデブラーと区別し、運動に基づく鮮明化と呼ばれる³⁻⁵⁾。

1.1 Hammett ら (2003) のモデルによる予測

Hammett ら (2003)⁵⁾は、運動による鮮明化はゲインコントロールを行ったコントラスト情報の非線形変換の過程で起こると説明している。図1は、コントラストの非線形変換によって、エッジが鮮明になる過程を表したものである。このモデルでは画像の輝度（図1a）から算出されるコントラスト（図1b）が入力値となる。次にモデルは各位置でのコントラストに対して、図1cのような非線形変換を行い各位置での出力を算出する。この非線形性は速度が速くなるにつれて強くなると仮定すると、運動しているエッジの出力は急峻で鮮明な画像となる（図

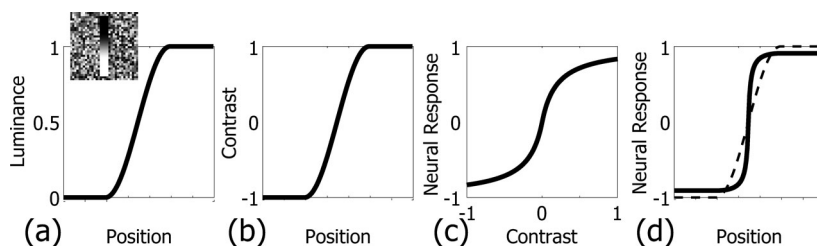


図1 非線形変換による鮮明化の予測 (Full 刺激). (a) 入力画像の輝度. (b) 入力画像のコントラスト. (c) コントラスト非線形変換関数. (d) 出力画像 (破線は入力値).

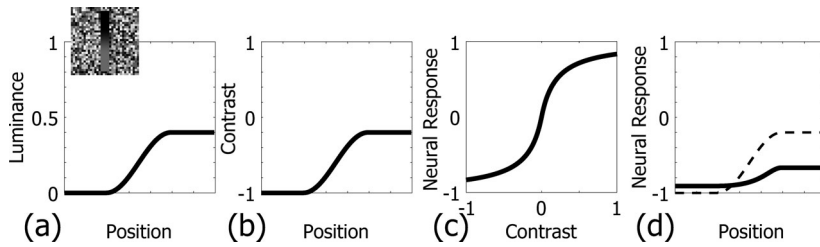


図2 非線形変換による鮮明化の予測 (Limited 刺激). (a) 入力画像の輝度. (b) 入力画像のコントラスト. (c) コントラスト非線形変換関数. (d) 出力画像 (破線は入力値).

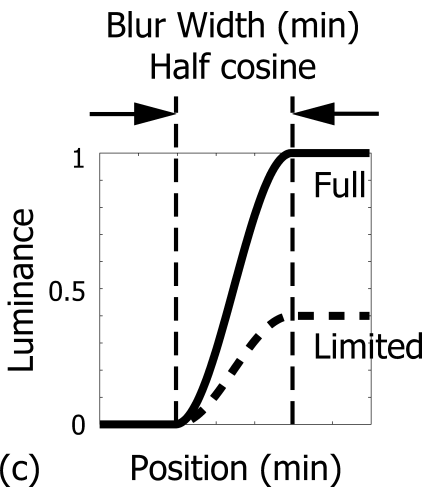
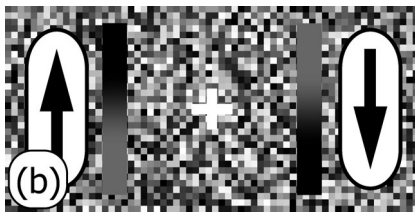
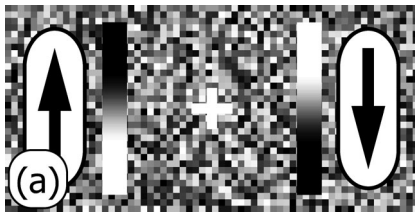


図3 刺激画像. (a) Full 刺激. (b) Limited 刺激. (c) 刺激の輝度プロファイル.

1d).

一方、図2はエッジの輝度が暗い範囲の輝度で定義された場合の予測を示している。このモデルでは、画像上の明るい部分と暗い部分とは、

強い圧縮性の変換を受けるため、出力に大きな変化は生じない。したがって、刺激の運動速度が速い場合には、出力での変化は非常に小さいものとなり、このような刺激を用いた場合には運動に基づく鮮明化は生じないことが予想される。そこで、本研究では、実際に図3のようなエッジの鮮明度をさまざまな速度で実測し、モデルの妥当性に関して検討することとした。

2. 実験 1

2.1 方法

2.1.1 被験者

筆者の1人を含む2名が被験者をつとめた。いずれの被験者も正常な視力もしくは矯正視力を持っていた。

2.1.2 装置

すべての刺激をPCで制御した視覚刺激提示装置 (Cambridge Research Systems ViSaGe) を使って作成し、22型のCRT (MITSUBISHI RDF223H) に提示した。CRTの時間解像度は90 Hzとした。さらに14-bitのlook-up tableを用いてガンマ補正を行った。被験者は頭部を顎台で固定し、両眼で刺激を観察した。すべての実験は暗室で行った。

2.1.3 刺激

一定のぼけ幅を持った水平方位のエッジを2つ並べたものを刺激とした (図3)。各エッジの横幅は20 min、縦は240 minとした。また、エッジの中心から注視点までの距離は60 minとした。2つのエッジは、それぞれ上方向か下方向かの反対方向に運動していた。

各エッジの輝度プロファイルは、半周期分の余弦波で定義した（図 3c）。エッジの物理的ぼけは余弦波の半周期で定義されるぼけ幅で表すことができる。したがって、ぼけ幅が長くなるとエッジは物理的によりぼけることになる。実験では、エッジの最高輝度を画面の最高輝度とした Full 刺激と、画面の最高輝度の 40% とした Limited 刺激との 2 種類の刺激を用いた。また画面の最高輝度と最低輝度とを Full 刺激と Limited 刺激とで等しくするために、エッジと同時に 100% のコントラストをもつ静止ノイズを背景として提示した。

基準となる標準刺激は 60 min のぼけ幅をもつ Full 刺激と Limited 刺激とした。この標準刺激は静止刺激、もしくはある範囲の速度をもつ運動刺激とした。一方、比較刺激には静止した Full 刺激のみを用いた。比較刺激は、標準刺激の速度に応じて、さまざまなぼけ幅をもっていた。

2.1.4 手続き

時間的な二肢強制選択法と恒常法とを用いて、標準刺激に対して知覚されるぼけの主観的等価点を測定した。まず、注視点を画面の中央に提示した。被験者には、試行中はつねに注視点の位置を注視するように伝えた。被験者は注視点に視線を向けた後、ボタンを押して試行を開始した。試行開始後、一様な背景に注視点を 800 ms 提示した後、ノイズ背景とともに 1 回目の刺激を 200 ms 提示した。続いて一様な背景に注視点を 800 ms 提示した後、ノイズ背景とともに 2 回目の刺激を 200 ms 提示した。1 回目に標準刺激を提示した場合は 2 回目に比較刺激を提示し、1 回目に比較刺激を提示した場合は 2 回目に標準刺激を提示した。被験者の課題は、より鮮明に見えた刺激の順番を答えることであった。

1 つのセッションでは、Full 刺激もしくは Limited 刺激のどちらか一方に対する測定を行なった。また、各セッションを 4 つのブロックにわけ、各ブロックでは異なる速度をもつ標準刺激に対する測定を行なった。刺激の種類と速

度との測定順序はランダムな順序とし、条件毎に 5 つのぼけ幅をもつ比較刺激を用いて測定を行なった。

各条件毎に比較刺激の方がぼけて見えた確率を心理測定関数で近似し、標準刺激に対して知覚されるぼけの主観的等価点を算出した。確率を計算するため、各比較刺激で 40 試行以上の測定を行ない、50% の反応が得られる比較刺激のぼけ幅を主観的等価点とした。

2.2 結果と考察

図 4 は、60 min のぼけ幅をもつ標準刺激に対する主観的等価点を被験者毎に表したものである。グラフの縦軸は標準刺激に対する主観的等価点を、横軸は標準刺激の速度を表している。シンボルは刺激の種類を示し、■ は Full 刺激の結果を、○ は Limited 刺激の結果をそれぞれ表している。

Full 刺激に対する主観的等価点は刺激の速度の上昇とともに小さくなった。標準刺激は 60 min のぼけ幅をもつため、60 min 以下の主観的等価点は標準刺激が比較刺激と比べて鮮明に見えることを示している。刺激が静止している場合は、それに対する主観的等価点は 60 min に近い値となった。一方、刺激が運動すると、刺激の速度の上昇とともに標準刺激に対する主観的等価点は小さくなった。このことは運動刺激が静止刺激と比較すると鮮明に見えることと同時に、運動による鮮明化の強度が速度の上昇とともに強くなることを示している。これらの傾向は先行研究の傾向と類似していた。

さらに、Limited 刺激に対する結果は Full 刺激に対する結果と類似していた。Limited 刺激でも、刺激が静止している場合は、それに対する主観的等価点は 60 min に近い値となった。このことは、異なる輝度範囲をもつ刺激を比較する場合でも、被験者が刺激のぼけを正しく知覚していることを示している。また、刺激が運動している場合でも、Limited 刺激に対する主観的等価点は Full 刺激に対するそれと類似していた。このことは、Limited 刺激を提示した場合にも、Full 刺激を提示した場合と同じ強度の運

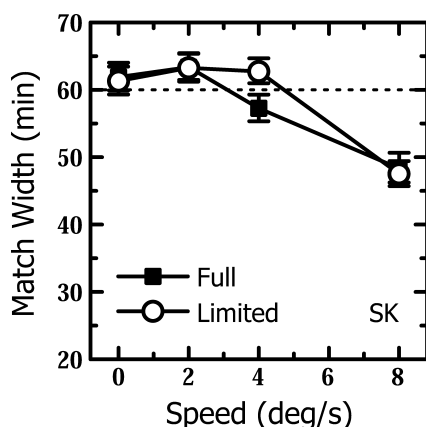
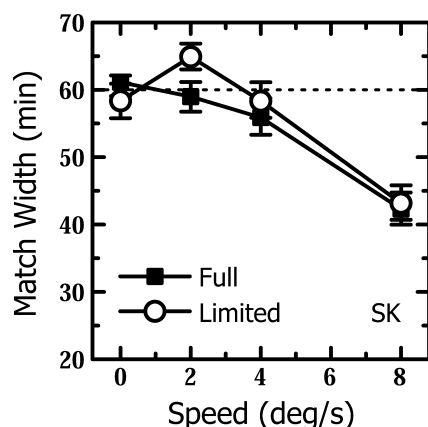
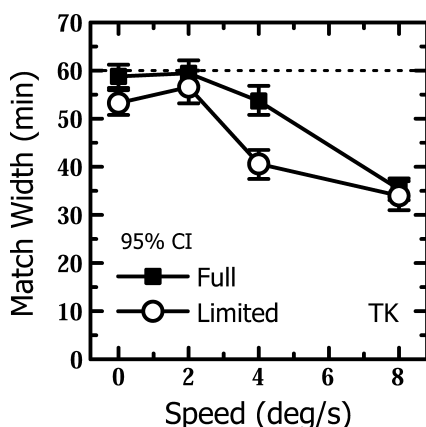
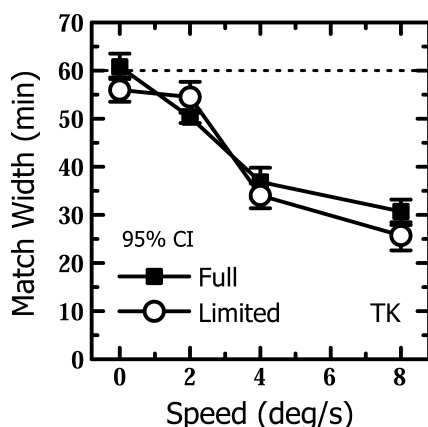


図4 静止ノイズを背景とした場合のぼけの主観的等価点.

図5 ダイナミックノイズを背景とした場合のぼけの主観的等価点.

動による鮮明化が生じることを表している。

予測では、Limited 刺激に対して生じる鮮明化の強度は、Full 刺激に対して生じる鮮明化の強度と比較して弱くなる。しかしながら、予測とは異なり、Limited 刺激を提示した場合にも Full 刺激を提示した場合と同じ強度の鮮明化が生じることがわかった。したがって、Hammett ら (2003)⁵⁾ のモデルではこの結果を説明することができない。ただし、この実験では静止したノイズ背景を提示していたため、運動処理を行うメカニズムのゲインコントロールに対する統制が不十分であった可能性を否定できない。そこで次の実験では、ダイナミックノイズを背景とし同様の測定を行なった。

3. 実験2

3.1 方法

実験2では、静止ノイズを背景として提示する代わりにダイナミックノイズを背景として提示した。それ以外の方法は実験1と同様のものとした。

図5は、実験1と同様に、60 min のぼけ幅をもつ標準刺激に対する主観的等価点を被験者毎に表したものである。グラフの縦軸は標準刺激に対する主観的等価点を、横軸は標準刺激の速度を表している。シンボルは刺激の種類を示し、■は Full 刺激の結果を、○は Limited 刺激の結果をそれぞれ表している。

3.2 結果と考察

図5は、実験1と同様に、刺激に対する主観

的等価点が刺激の速度の上昇とともに減少することと Limited 刺激に対する結果が Full 刺激に対する結果と類似することを示している。これらの結果は、ダイナミックノイズを背景とした場合でも、Limited 刺激に対して生じる鮮明化の強度が Full 刺激に対して生じる鮮明化の強度と同程度であることを表している。

4. 総 合 考 察

本研究から、100% のコントラストをもつノイズ背景を用いてゲインコントロールに対する統制を行った状況下で、輝度範囲が異なる刺激に対して同じ強度の鮮明化が生じることが示唆された。Full 刺激に対する結果は、運動による鮮明化の強度が速度の上昇とともに強くなることを示している。この結果は、先行研究³⁻⁵⁾の結果と類似し、Hammett ら (2003)⁵⁾ のモデルの予測とも合致する。一方、Limited 刺激に対する結果は、エッジに含まれる輝度分布が画像の輝度分布と比較して低い方に偏った場合でも、Full 刺激と同じ強度の運動による鮮明化がさまざまな速度で生じることを示している。エッジの平均輝度を保った状態で、コントラストが運動による鮮明化に与える影響を報告した研究^{3,5)}はあるが、輝度分布と鮮明化との関係を報告した研究はない。また、Limited 刺激に対する結果は Hammett ら (2003)⁵⁾ の予測とも完全には合致しない。

Limited 刺激に対する結果は、運動による鮮

明化が対象となる刺激の輝度分布に基づいて処理されている可能性を示唆していると考えられる。しかしながら、そのような処理を行うためには対象となる刺激の空間的範囲を視覚系が知る必要がある。またその範囲に含まれる輝度情報に対して適切なゲインコントロールを行う必要がある。したがって、今後、これらの処理を考慮しながら、Hammett ら (2003)⁵⁾ のモデルの精緻化を含め、現象を説明する新たなモデルの考案が必要であると考えられる。

文 献

- 1) D. Burr: Motion Smear. *Nature*, **284**, 164–165, 1980.
- 2) V. S. Ramachandran, V. M. Rao and T. R. Vidyasagar: Sharpness constancy during movement perception. *Perception*, **3**, 97–98, 1974.
- 3) P. J. Bex, G. K. Edgar and A. T. Smith: Sharpening of drifting, blurred images. *Vision Research*, **35**, 2539–2546, 1995.
- 4) S. T. Hammett, M. A. Georgeson and A. Gorea: Motion blur and motion sharpening: temporal smear and local contrast non-linearity. *Vision Research*, **38**, 2099–2108, 1998.
- 5) S. T. Hammett, M. A. Georgeson, S. Bedingham and G. S. Barbieri-Hesse: Motion sharpening and contrast: Gain control precedes compressive non-linearity? *Vision Research*, **43**, 1187–1199, 2003.