

運動誘導盲における選択的フィリングイン

Selective Filling-in of Large Artificial Scotoma

正原 涼†
Ryo Shohara

勝村 真人†
Makoto Katsumura

内藤 誠一郎†
Seiichiro Naito

1. まえがき フィリングイン

フィリングイン (Filling-in FI) は視覚機能における基本的な謎のひとつである。古くより多くの知見が蓄積されている。有名なものに Troxler (1804) 効果がある。周辺視野において、図形要素の境界が比較的滑らかに変化していれば、注視によって網膜像を固定すれば、試験図形が消失する。さらに消失後の領域には背景の輝度や色がフィリングインする。本現象において消失については主として網膜における輝度変化刺激に対する順応と理解されるが、境界の消失後いかなる生理的機構でフィリングインが成立するかは定かでない。順応に基づいていることから数秒の凝視が必要である。一方、Craig-O'Brien 錯視が知られている。図形境界付近の狭い領域を除いて隣合う図形が等輝度であっても、図形境界付近に滑らかな輝度勾配と境界での輝度跳躍を設定すると、境界を挟んで輝度に変化してみえる。境界付近の輝度情報が広く図形領域にフィリングインしたと解釈できる。しかし、Troxler と異なり凝視や順応は必要なく、注視点を画像上でサッカーしても効果は変わらない。これらは本質的な差があると想定される。Krauskopf は特殊な器具で緑円刺激を網膜上に固定して投射した。その周囲には通常の視覚刺激として大きな赤円を同心円的に提示した。緑円が投射された瞬間には被験者は緑円をみるが、数秒で消失し赤円しかみえない。この間も緑円は網膜に照射され続けているのである。フィリングインに関連した神経生理学的な知見も古くより確立している。網膜、外側膝状体、視覚領第1野において、神経細胞は一様かつ時間変化のない刺激に反応しない。すなわち明るくても暗くても白くても赤くても同じ程度の弱い反応しか返さない。神経細胞の

反応には輝度あるいは色相の変化および眼球のマイクロサッカードが必要である。このように刺激の消失は理解できるが、前述のようにフィリングインの生理学的機構は未解決問題である。

最近、これらの現象を応用した見事なデモが話題になっている[1][2]。[1]は色彩残効とフィリングインの組み合わせであるが、境界線分により見事なフィリングインの制御が示されている。[2]も色彩残効と消失の見事なデモである。V1 において確かに色彩のフィリングインが起こっていることもわかっており[3]、残効もフィリングインすることが示されている[4]。マスキングの手法により輝度情報のフィリングイン過程が明確に分析されている[5]。また、フィリングイン機能を途中で停止することが確認されている。停止位置と時間の分析により確かに輝度情報は伝搬していくことが証明された。しかしながらその後同様の現象が輝度情報ではなくテクスチャ領域でもおこることが分かった[6]。両者は両立しないように思われる。すなわちテクスチャは明確な輝度境界をもっている。一般にフィリングインは輝度境界で停止すると考えられている。したがってテクスチャのフィリングインは一様な輝度のフィリングインよりも抽象的な段階での機能と考えざるを得ない。

我々は、次に説明する運動誘導盲 (Motion Induced Blindness MIB) によって引き起こされる消失領域においてフィリングインを分析する。MIB 等により引き起こされる失認領域を人工的視野欠損 (Artificial Scotoma AS) と呼ぶ。AS で輝度、色彩、またはテクスチャ情報のどれが、より容易にフィリングインするか分析する。

運動誘導盲 (MIB)

Bonneh, Y. (2001) らは、背景刺激の運動により、画面中

† 東海大学大学院工学研究科情報理工学専攻

の周辺視野の点が消失する現象を報告した[7]. 背景が黒の画面上に、三角形状に3つの静止点図形(黄)を配置し、別に画面中央の注視点を中心として、1秒間に1/10回転する暗い青の十字マークがある。被験者が中央注視点を凝視していると、静止点図形が消失する。この錯視において背景のテクスチャはかなり任意のもので有効である。回転速度はさほど重要な要因ではない。また、運動は必ずしも2D回転でなく、3Dまたは1D運動でも有効である。発見者が、画面左上において消失容易と示したことから、多くの研究が消失試験図形を第二象限においている。

MIBの原因について多数の理論が提起されている。高次認知の観点から、人間の意識又は注意機構の限界が消失の原因として考えられている。また発見者により視覚障害の一種である Simultanagnosia Balint syndrome との類似が指摘されている。一方より低次の視覚機構による分析も多数ある。発見者により既にゲシュタルト的特性をもっている。すなわち形状、方向など特異的な効果が及ぶことが分析された[8]. MIB中に方向選択性の順応が起こる[9]. 誘導図形と試験図形の奥行差があると消失効果が異なる[10]. MIB中の刺激図形の残効には影響されない[11]. 特殊な分析として、統合失調症との関連の分析もある[12]. 大脳両半球間の干渉に関する分析もある[13].

従来のMIB研究では消失する試験図形は視角1°あるいは2°程度の小さなものに限られていた。したがって消失時にフィリングインする情報について確実な分析が困難であった問題点がある。我々は点図形ではなく、大型の面図形を消失することを実現した[14]. また、従来研究のMIBでは、ターゲットの消失は確率的にランダムに生じていた。我々は新しい誘導刺激を使用し、ターゲットの同期消失に成功した[15]. 通常MIBは中心視を多少離れた領域で生じる。同期消失において、偏心度が一定であることが決定的な要因であるか検証した[15].

人工的盲点 (Artificial Scotoma AS) と認知的フィリングイン (Perceptual Filling-in)

ヒトの盲点は網膜細胞が存在しない自然の暗点であり、そこではフィリングインが生ずる。一方、動的ランダムド

ットについても同様のフィリングインが生じる。急速な時間変化があるにも関わらず同様の特性をもっていることが興味深い。

MIBにより生じた人工的盲点(Artificial Scotoma)で自然の盲点同様にフィリングインが生じるか否か、研究が進んでいる。ASにおける認知的フィリングインは Ramachandran によって提起された[16]. 本研究における着想は[16]に基づくものである。一般に従来研究ではMIBにより生じた人工的盲点と生理的盲点の類似性について肯定的結果が主張されている。特に、フィリングインは領域色が先に、後にテクスチャの順で生じると主張されている。

また、MIBの知覚的暗点[17]、および、認知的フィリングインの一般的なメカニズムの研究も進められている[18][19]. もっとも望ましい条件は、自然の盲点と等面積のASを用いて研究することである。我々は生理的盲点より更に大型のMIB試験図を消失する手段を得たため[14][23], 大面積のASを利用し、分析を進める[20].

2. 実験条件

暗室で以下の2条件で実験を行った。

1. 試験図を液晶17インチモニタに表示し、視距離は54cmで実験
2. 試験図を1.2m×0.9mのプロジェクターに投影し、様々な視距離で実験

被験者は著者を含む5名である。全ての実験において、被験者は、画面中央にある注視点を両眼で注視する。一般的に、MIBを経験するには10秒程度の凝視が必要である。被験者には、試験図形(静止刺激図、図1に示すような、緑円等)が1つ以上消失したら口頭で報告してもらう。また消失後、周辺および背景の輝度・色彩あるいはテクスチャがフィリングインしたかどうかを同様に報告してもらう。

3. 実験

上下偏心度14°に位置し半径視角7°の円を試験図形とする。さらに誘導図形として、円と同心円状に、太さ0.2°の円環を配置する。

実験 1. 色彩のフィリングイン

背景が赤 ($x=0.64, y=0.34, L=41\text{cd/m}^2$) の領域内に、緑円 ($0.38, 0.62, 141$) を配置する。緑円と同心円状に、太さ 0.2° の白の円環 ($0.33, 0.38, 220$) を配置する。円環は1秒間で直径 11° から 9° に滑らかに縮み、その後 11° に瞬間的にもどり、同様の運動を繰り返す。以降の実験において円環の誘導運動は実験1と同様である。刺激図を図1に示す。任意の色彩がフィリングインするか検証する。

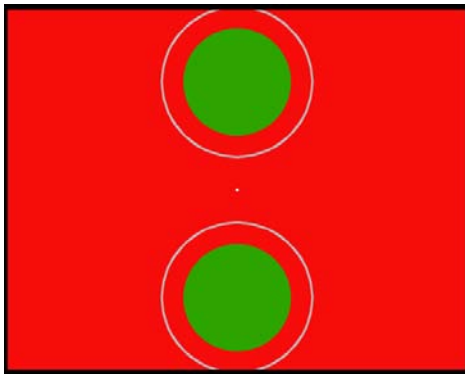


図1. 色彩のフィリングイン

実験 2. 領域のフィリングイン

背景が灰 ($0.32, 0.36, 26$) と黒 (0.42cd/m^2) の領域内に白円を配置する。白円と同心円状に、太さ 0.2° の青の円環を配置する。刺激図を図2に示す。異なる背景色の境界がどのようにフィリングインするか検証する。

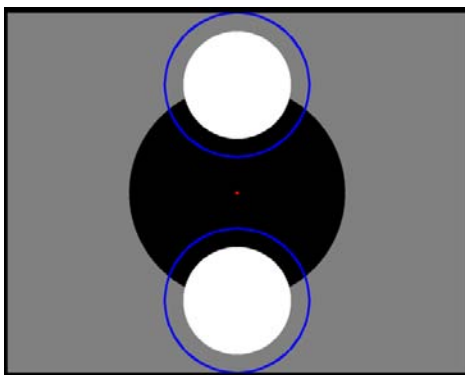


図2. 領域のフィリングイン

実験 3. 線分のフィリングイン

背景が黒の領域内に、黄円 ($0.40, 0.50, 192$) を配置する。黄円と同心円状に、太さ 0.2° の青 ($0.14, 0.08, 13.3$) の円環を配置する。刺激図を図3に示す。

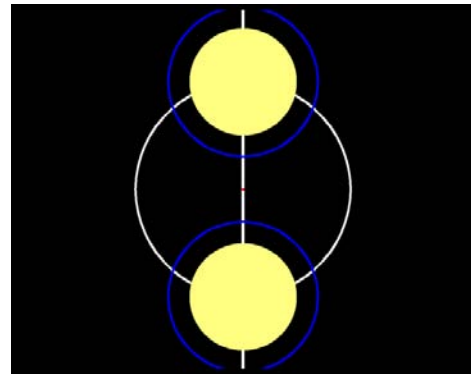


図3. 線分のフィリングイン

実験 4. テクスチャのフィリングイン

背景が黒の領域内に複数の垂直縞 (白) を配置する。黄円および青の円環を配置する。刺激図を図4に示す。

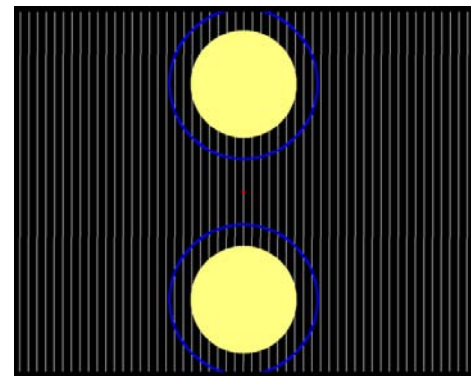


図4. テクスチャのフィリングイン

実験 5. 輝度条件の反転

背景が白の領域内に、黒円を配置する。黒円と同心円状に、太さ 0.2° の黄円環を配置する。刺激図を図5に示す。輝度条件を反転させた場合においてもフィリングインするか検証する。

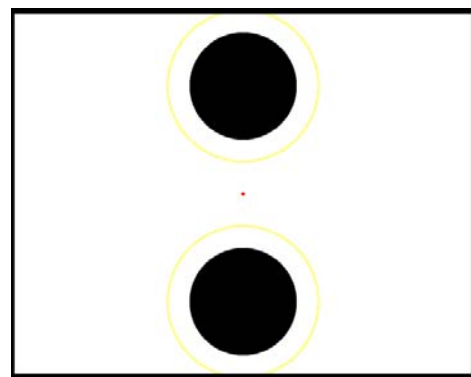


図5. 輝度条件の反転

実験6. テクスチャの消失 同心円

実験6における消失図形の意図は、次のとおりである。一般にフィリングインは輝度勾配の無い領域で生じると考えられている。図6に示すように、多数の同心円を超えて背景黒領域はフィリングインするか検証する。

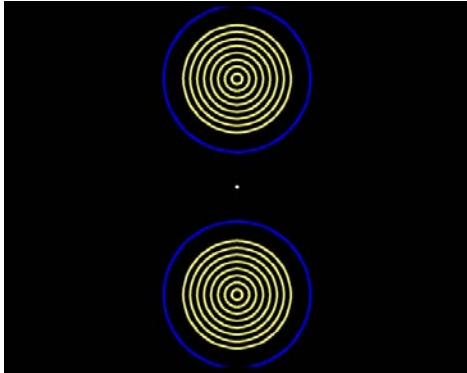


図6. テクスチャの消失 同心円

実験7. テクスチャの消失 放射線

実験6の同心円部分を放射線状の線分に置き換えた。この実験の試験図形の意図は次のとおりである。一般にMIBにおける誘導図形と試験図形は境界形状が似ている状況で消失が効果的であると考えられている。図7の重要性は、試験図の境界の方向が、誘導図形の境界と直交していることである。消失、フィリングインが生じるか検証する。

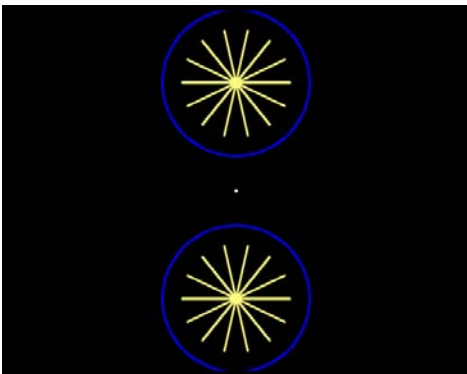


図7. テクスチャの消失 放射線

4. 実験結果

5名のいずれの被験者からも、以下の結果が得られた。

実験1.

試験図形が消失した直後に、背景色がフィリングインした。

実験2.

背景色がフィリングインした。すなわち灰色領域と黒領域がフィリングインした。しかし灰と黒の境界はぼやけており明確な境界は知覚されなかった。

実験3.

試験図形は消失したが、領域内に円環や線分はフィリングインしなかった。消失領域は背景の黒が知覚された。

実験4.

試験図形は消失したが、領域内に垂直縞柄のテクスチャはフィリングインしなかった。消失領域は背景の黒が知覚された。

実験5.

試験図形が消失しなかった。

実験6.

同心円が全て一度に消失した。消失後領域には黒がフィリングインした。

実験7.

放射線状の線分が全て一度に消失した。消失後領域には黒がフィリングインした。

5. 考察

実験結果から得られた選択的フィリングインの知見は以下ととおりである。

- (1) 背景輝度はFI可能
- (2) 背景の色彩はFI可能
- (3) 領域の境界は不明確ではあるがFI可能
- (4) 線分はFI不可能
- (5) 細かいテクスチャはFI不可能

これらの知見は次のようにまとめられる。

- (1) 自然の盲点、MIBにおけるASは異なる。すなわち両盲点は同一視できない。従来研究で肯定的結論であったのは消失領域が小面積であったためと推定する。
- (2) 色彩のフィリングインに関して、従来研究では、MIBの成立には、背景が黒である条件で研究されたが、色彩に関する系統的实验を行ったところ、どの色彩でも背景輝度が暗く、試験図形の輝度が明るいという条件下であれば、容易に試験図形が消失し色彩情報のフィ

リングインが成立することを確認した。

- (3) 反対の輝度条件下, すなわち背景が明るく試験図形が暗いときは, 少なくとも本論文で検証した MIB は成立しない。しかしながら, 同様の試験図を小面積に変えて実験を行ったところ, 試験図形が黒であっても消失した。検討をかさねたが, 現象の解明には至らなかった。
- (4) 従来研究でフィリングインが生ずると主張されているテクスチャは本実験ではフィリングインが認められなかった。しかし上記と同様に小面積の AS で実験を行ったところ, 従来結果通り, テクスチャのフィリングインが認められた。従来研究では, 約 $1\sim 2^\circ$ の小面積の AS のみを用いて研究されてきたことに制約があったのではないかと推定する。

相反する仮説:

A: 小面積の AS であれば FI が可能である

B: 小面積の AS であっても FI は不可能である

のいずれが正しいか検証する必要がある。

従来研究におけるフィリングインが色彩からテクスチャの順に生じる事実は本実験にあてはまらない。具体的な条件の差は, 本実験に用いた試験図の面積は 7° であり, ヒトの盲点の大きさと同等である。それにも関わらず, ヒトの盲点上ではフィリングインが可能であり, 本 MIB では不可が事実とすると, 従来研究で同一視されている真の盲点と誘導盲の盲点は, 本研究結果から同一視できないと主張できる。MIB は試験図形の消失なのか, もしくはフィリングインなのか, 両者を区別する必要が生じるかもしれない。

従来研究における MIB と本研究の MIB には特有の違いがある。従来の MIB では試験図形の消失時間は数秒間続くのに対し, 本研究の MIB では消失時間は一瞬である。

実験 4. における背景テクスチャのフィリングインについて, 大面積の AS ではフィリングインが生じなかった。しかし小面積の AS では, 垂直縞の本数が少数の低周波縞よりも本数が多数の高周波縞の方がフィリングイン容易であった。これは高周波縞では模様を一様な背景として認識

している為であると考えられる。一方, 低周波縞では縞を一様な背景ではなく, 個々の図形要素をもつテクスチャとして認識しているため, 高周波縞よりもフィリングインが生じにくいのではないかと推定できる。

実験 6 および 7 の結果は新たな研究課題を示唆している。

A: 境界のいかなる情報に順応しているのか

B: 消失はフィリングインなのか

本来フィリングインは輝度の境界で止まるはずだが, 同心円は全て一度に消失する。一様輝度より抽象的な一様テクスチャに関する同様の機能と考えてよいだろうか。試験図形と誘導図形の境界の形態にどのような関係性があるのだろうか。

フィリングインを 2 種類に分ける必要があるかもしれない。

(1) 瞬間的 FI (盲点に近いフィリングイン)

(2) 完了に時間が必要な FI

盲点はサッカーボール運動においても違和感はない。フィリングインは瞬間的なのだろうか。一方文献[5][6]で実証されたようにフィリングインには数十ミリ秒の時間が必要と推定されている。盲点における時間特性は単に意識にのぼらないだけであろうか。文献[5][6]の研究はマスキングの応用であり, 妨害刺激が提示される時は, すでに試験図形は実際に消失している。一方本研究も含め一般に MIB においては試験図形は常に存在しており, そのうえで消失・フィリングインがおこる。両者を単純に比較してはいけな

6. 結論

MIB における AS では, 背景輝度および色彩はフィリングイン可能である。しかし円や線, あるいはランダムドット等のテクスチャではフィリングインは生じないことを確認した。また, MIB においてフィリングインが生ずるとい

う一般論を全面的に支持はできないこともわかった。少なくとも生理的盲点と MIB 誘導盲を単純に同一視できない。またフィリングインの時間特性についても本質的な研究

課題が残っているといえる。

本論文においては新たに工夫した大面積の AS を用いてフィリングインの分析を進めることができた。文献[21]には関連する記述がある。[22]は本論文の実験全般のオンラインデモサイトである。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、実験に協力していただいた研究室の皆様に深謝する。

参考文献

- [1] <http://illusioncontest.neuralcorrelate.com/> 2008 First prize.
- Van Lier, R., Verger, M., & Anstis, S., "Filling-in afterimage colors between the lines", *Current Biology* Vol. 19. No.8, R323-324.
- [2] http://www.michaelbach.de/ot/col_lilacChaser/index.html
- [3] Sasaki, Y., & Watanabe, T., "The primary visual cortex fills in color", *PNAS* Vol. 101, No. 52, pp.18251-18256.
- [4] Shimojo, S., Kamitani, Y., Nishida, S., "Afterimage of Perceptually Filled-in Surface", *Science* Vol. 293 1677(2001).
- [5] Paradiso, M., & Nakayama, K., Brightness, "Perception and Filling-in", *Vision Res.* Vol. 31, No. 7/8 pp. 1221-1236, 1991.
- [6] Motoyoshi, I., "Texture filling-in and texture segregation revealed by transient masking", *Vision Res.* Vol. 39, pp. 1285-1291, 1999.
- [7] Bonneh, Y. S., Cooperman, A., & Sagi, "Motion-induced blindness in normal observers", *Nature* 411, pp.798-801, 14 June 2001.
- [8] Mitroff, S. R., Scholl, B. J., "Forming and updating object representations without awareness: evidence from motion-induced blindness", *Vision Res.* Vol. 45, pp. 961-967, 2005.
- [9] Montaser-Kouhsari, L., Moradi, F., Zandvakili, A., Esteky, H., "Orientation-selective adaptation during motion-induced blindness", *Perception*, Vol. 33, pp. 249-254, 2004.
- [10] Graf, E. W., Adams, W. J., Lages, M., "Modulating motion-induced blindness with depth ordering and surface completion", *Vision Res.* Vol. 42, pp. 2731-2735, 2002.
- [11] Hofstoetter, C., Koch, C., Kiper, D. C., "Motion-induced blindness does not affect the formation of negative afterimages", *Consciousness and Cognition* Vol. 13, pp. 691-708, 2004.
- [12] Tschacher, W., Schuler, D., Jungham, U., "Reduced perception of the motion-induced blindness illusion in schizophrenia", *Schizophrenia Research*, Vol. 81, pp. 261-267, 2006.
- [13] Funk, A. P., Pettigrew, J. D., "Does interhemispheric competition mediate motion-induced blindness? A transcranial magnetic stimulation study", *Perception*, Vol. 32, pp. 1328-1338, 2003.
- [14] Katsumura, M., Shohara, R., & S. Naito, "Transilience Induced Blindness", *Ann. Meeting of Vision Science Society*, May 2011.
- [15] Naito, S., "Synchronous Motion-Induced Blindness and Disappearance of a Ring", *Ann. Meeting of Vision Science Society*, May 2010.
- [16] Ramachandran, V. S., & Gregory, R. L., "Perceptual filling in of artificially induced scotomas in human vision", *Nature*, Vol.350, No.6320, pp.699-702, 1991.
- [17] New, J. J., Sholl, B. J., "Perceptual Scotomas A Functional Account of Motion-Induced Blindness", *Psychological Science*, Vol. 19, No. 7, pp. 653-659, 2008.
- [18] Hsu, L. C., Yeh, S. L., & Kramer, P., "Linking motion-induced blindness to perceptual filling-in", *Vision Research*, Vol.44, pp.2857-2866, 2004
- [19] Hsu, L. C., Yeh, S. L., & Kramer, P., "A common mechanism for perceptual filling-in and motion-induced blindness", *Vision Research*, Vol.46, pp.1973-1981, 2006.
- [20] Shohara, R., Katsumura, M., & Naito, S., "Selective Filling-in of Large Artificial Scotoma", *Ann. Meeting of Vision Science Society*, May 2011
- [21] Naito, S., Katsumura, M., & Shohara, R., "Motion Induced Blindness, Artificial Scotomas, and Perceptual Filling-in", *IEICE Technical Report PRM2010-283(2011-03)*.
- [22] On-line demonstrations of VSS2010&2011
<http://www.snaito.et.u-tokai.ac.jp/VSS2011SNAITO/>
- [23] 勝村, 正原, 内藤 FIT2011