運動誘導視覚失認による人工視野欠損と視覚充填

Artificial Scotoma And Filling-In Induced By MIB

内藤誠一郎 Seichiro NAITO 正原 涼 Ryo SHOHARA
勝村真人 Makoto KATSUMURA

アブストラクト 本稿では、誘導視覚失認(MIB: Motion Induced Blindness)の発見と各種の発展研究、現象分析及びモデル化、また生理学的機序研究の経緯を概観する。同現象を研究するにあたりその基礎となる視覚暗点(BS: Blind Spot)における視覚充填(FI: Filling-In)、人工的視野欠損(AS: Artificial Scotoma)、また一般に視覚失認現象(VB: Visual Blindness)の知見をまとめる。更に、最近の筆者らの運動誘導失認に係る研究についてまとめる。一般に視覚失認の研究は視覚刺激が意識に上り「見えた」と気付くという最も基本的な視覚機能を解明する手掛かりを与えるものであり、心理学・生理学また認知科学更に哲学の観点からも興味深い研究である。

キーワード 運動誘導視覚失認, 人工視野欠損, 視覚失認, 視覚充填

Abstract The discovery and subsequent investigation of motion-induced blindness (MIB) are reviewed. The physiological mechanisms and functional organization of MIB are of considerable interest as a peculiar example of visual blindness. The natural blind spot (BS) has perfect filling-in (FI) functions. MIB can be identified using an artificial blind spot (AS). Here, recent research results by the authors are explained. By investigating MIB, we can approach issues associated with visual awareness of interest in physiology, psychology, cognitive science, and even philosophy.

Key words Motion-induced blindness, Artificial scotoma, Visual blindness, Filling-in

(本稿はNo.3に掲載すべきところを編集委員会の都合でNo.4掲載となりましたことをお詫び致します。)

1. まえがき

本稿では、運動誘導視覚失認(MIB: Motion Induced Blindness)について研究経緯を概観する。また筆者らの現象分析・発展研究の試みを紹介する。まず同現象のメカニズムと深く関わる視覚暗点(BS: Blind Spot)における視覚充填(FI: Filling-In)、人工的視野欠損(AS: Artificial Scotoma)、また一般に視覚失認現象(VB: Visual Blindness)の知見をまとめる。次にMIBの発見と各種の現象分析及びモデル化、また生理学的機序研究の経緯を解説する。次に最近筆者らが試みた次の項目にわたる研究を解説する。

- ① 消失の同期。
- ② 大面積図形消失。
- ③ 視野闘争による両眼性検証。
- ④ MIB消失の時間経緯分析。

- ⑤ 長時間消失の工夫。
- ⑥ 異方性分析。
- ⑦ 輝度非対称性分析。
- ⑧ 円環図形の消失。
- ⑨ 長線分図形・扇形図形の消失及び中心視近辺の消失。
- ⑩ MIBによる擬似的な仮現運動(AM: Apparent Motion)を利用したASとBSにおけるFIの比較。
- ⑪ 背景・試験図形の順応要否分析。
- ⑫ 消失時間遅れ及び消失後の残効分析。
- ⑬ 残効図形のMIB消失。
- ⑭ 残効MIB消失におけるオフセット時間分析。
- ⑮ 残効による色彩対比のMIB消失。

一般に視覚失認の研究は視覚刺激が意識に上り「見えた」と気付くという最も基本的な視覚機能解明の手掛かりを与えるものであり、心理学・生理学また認知科学更に意識に関する哲学の観点からも興味深い研究である。

2. 背景となる知見

2.1 意識、視覚的気付き

一般に失認とは視覚刺激が意識に上らないことである。しかしそもそも“意識”がなければ、失認に関する主張自体が無意味である。意識とは何か? ギリシャ以来の哲学的難問で

内藤誠一郎 正員:フェロー 東海大学情報理工学部情報科学科
E-mail snaito@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp
正原 涼 東海大学情報理工学部情報科学科
勝村真人 東海大学情報理工学部情報科学科
Seichiro NAITO, Fellow, Ryo SHOHARA, and Makoto KATSUMURA,
nonmembers, (School of Science and Engineering, Tokai University, Hiratsuka-shi,
259-1292 Japan)
電子情報通信学会 基礎・境界サイエティ
Fundamentals Review Vol.8 No.4 pp.244-264 2015年4月
©電子情報通信学会 2015

ある。Descartesが割り切ったように“考えることができる”とすればよいのか？ “考えることができる”に加えて“精神”を認め二元論でよいのか？ いずれも科学的理性に鑑みると、そのままでは受け入れ難い。哲学では“心身問題” (Mind/body problem)として深く研究されており、Dennettの総合的な解説がある^{(1)・(2)}。これらの解説は、いずれも“考える”ことについての深い考察であり、必然的に言語の問題になる。では、高階述語論理が駆使できれば意識になるだろうか？ 高階述語を駆使する能力に加えて“志向性 (intentionality)”, “内包 (intension), 外延 (extension)”, “de re and de dicto”等の概念の記述及びその引用をいかにしゅん別し、駆使できるのか？ 一方、言語のない動物に意識はないのかとすることに関してChurchland⁽³⁾, Lycan⁽⁴⁾は各種の理論及び発展の経緯を解説している。Hofstadter⁽⁵⁾による“再帰処理” (Regression)の問題について楽しいエッセイもある。Hofstadterの解説⁽⁵⁾に対しては脳の中に∞の再帰処理があるのだろうかという疑問が起こるが、一般の工学者が無条件で受け入れる理論は“機能主義” (Functionalism)である。当該機能の入出力が実現できれば内部機構は問わない立場である。一般の工学者はシミュレーションで満足し、“意識”の本質は問わない。この立場ならロボットもコンピュータも意識を持つことになる。この立場を支持する哲学者もいる。すなわち意識なるものが存在すると思えるのは錯覚・幻想であり、“意識”という問題設定自体が間違っているかもしれないからである。筆者らは“機能主義”に反対の立場である。ロボットやコンピュータは“哲学的ゾンビ”であり、心は持たない。“機能主義”への反論として“Qualia”の議論は心ひかれるものがある^{(6)・(7)}。“赤色”を認識する装置はできる。しかしその装置は“赤色”の“Qualia”すなわち“赤い感じ”を経験したのだろうか？シミュレーションを実現しても無意味ではないか？ 工学者の価値観及び対峙する哲学者の価値観、また少し離れて真面目に悩む心理学者・生理学者の価値観に関し、問題を共有すべき研究者間の交流のなさについてChurchland⁽⁸⁾はその序論で厳しく酷評している。同書は哲学者から見た生理学の評価であり、大変興味深い。

一般に感覚の研究は意識研究への有効なアプローチの一つである。それは感覚における最初のセンサすなわち感覚器は生理学的に、工学的に、つまり“身”の問題として解明できているからである。例えば視覚における網膜の機能は大変よく分かっている。続くLGN (Lateral Geniculate Body, 外側膝状体、視床の視覚経路中継神経節), V1 (Visual cortex 1, Primary visual cortex, 視覚領第1野), 更に続く多くの視覚領の機能がかなり分かっている。いつ、どうなると“見えた”とを感じるのだろうか、すなわちいつ、どうなると“心”になるかという問題の分析にあたり“失認”は具体的な手掛かりとなる。どうして見えなくなったかが分析できる可能性があるからである。

筆者らは“意識”の解明なしに、その存在を前提として危うい推測的研究を進めているのである。

2.2 視覚暗点 (BS: Blind Spot)

前節では実在する刺激が見えない“失認”が意識研究の手掛かりになることを説明した。もう一方の手掛かりは“実在しないもの”が“見える”現象である。特に普遍的で興味深いのは“視覚的暗点” (BS)における知覚である。視角にして5°程度のかかなり大きな領域に視細胞はなく、視覚情報はない。しかし通常気付かず、見えているような気がしている。“視覚的充填” (FI: Filling-In)が起こるからである。Dennett⁽⁹⁾はトップダウン的機構を重視した説明を与えており、興味深い。心理学者、生理学者は当然神経回路網を基にボトムアップ的分析を進める^{(10)・(11)}。Ramachandranによる更に高度な機能 (amodal completion, pop-out, apparent motion) の分析もある^{(12)・(13)}。

2.3 視覚充填 (FI)

FIは自然な暗点 (BS) で顕著に体験できる現象であるが、BSに限らず視覚機能の基本となるものである。すなわち網膜からの神経出力の時点で既に一樣な領域からは信号は出していない。信号は画像が変化する境界からのみ出力されている。それでも一樣な領域は輝度・色彩共に画像のとおり知覚される。視覚系のどこかでFIが機能しているからである。

背景上でぼんやりあるいは滑らかに色彩・輝度が変化する画像要素を注視点を固視して観察すると同画像要素は消失し一樣な背景になってしまう。同現象を1804年にTroxlerが報告して以来、視覚研究の難問となった。錯視現象の多くも関連する原理に基づいている。実情報でなく残効でもFIが起こる⁽¹⁴⁾。また仮現運動 (AM: Apparent Motion) においても隠れて見えない要素が認知されている⁽¹⁵⁾。FIはいかなる生理学的機構で実現されるか基本的な問題である。筆者らは**4.10**に示すように、仮想的なAMを実現するMIBを工夫しFIの分析を進めた。

2.4 運動誘導視覚失認 (MIB: Motion Induced Blindness)

2001年6月のNature誌が運動誘導視覚失認 (MIB: Motion Induced Blindness) の発見を報じた⁽¹⁶⁾。運動誘導視覚失認 (MIB) の発見を初めて報じたこの研究⁽¹⁶⁾は視覚の研究に大きなインパクトを与え、MIB (運動誘導視覚失認) に関する多数の追試・確認研究が続いた。

MIB (運動誘導視覚失認) の具体例を図1に示す。背景がゆっくり回転運動をすると、黄色小点が時折消失するのである。この運動誘導による視覚失認 (消失) をMIB (運動誘導視覚失認) と呼ぶ。

実は原論文⁽¹⁶⁾では黄三角形が上下逆になっている。原論文によれば第二象限の点が消失しやすいこと、また消失はゲシタルト的グループ化 (すなわち、良い形としてまとまる図形要素が同時に消失する) も関係していると主張されている。また、背景のテクスチャに特別な条件を課すことは不要であ

図1 MIBの刺激例 黄色3小点は静止している試験図形である。背景には十字形が配置されている。背景は中央注視点を中心に回転し誘導図形となる。注視点を固視していると時折黄色小点が消失する。

り、背景の回転速度についての条件も緩くてよく、かなりの広範囲の背景の回転速度に対してMIB（運動誘導視覚失認）が起こり、消失（MIB）の成立は頑健である、とも原論文⁽¹⁶⁾では主張されている。

MIB（運動誘導視覚失認）発見の報告⁽¹⁶⁾後直ちに、MIBの現象（視覚消失現象）を説明するために二つの仮説が提案された。一つは認知的観点あるいは高次視覚機能によるもので、基本的には“意識”、“気付き”あるいは“注意”をつかさどる生理機構には処理量の限外があり、注意が向かない、気付かないという仮説である。もう一つの仮説は初期視覚系における視覚情報処理の機能として、MIBの現象（視覚消失現象）説明しようとするものである。例えば“MIBの現象（視覚消失現象）は仮想的な面の知覚とそれによる遮蔽”として解釈できるとする研究がある⁽¹⁷⁾。実際、背景と試験図形に奥行き差をつけて観察すると、この仮説⁽¹⁷⁾を支持する合理的な結果が得られることが同文献⁽¹⁷⁾によって確認されている。また固視点を注視していないとMIBの現象（視覚消失現象）が起こらないことから、MIBが成立するためには、消失対象である試験画像に対する強い順応が必要であることが一般に認められている。しかし4.11に示すように筆者らは順応条件の一部を緩和できることを見いだしている。MIB（運動誘導視覚失認）が成立するために必要とされる順応はFIと関連して重要な特性と考えられ、背景画像の基本的性質として背景の空間周波数、時間周波数の分析がされた⁽¹⁸⁾。一般に、運動する背景画像の要素は運動した領域に何らかの視覚的影響を残す（Motion streak）。運動した背景画像が与える視覚的影響（Motion streak）がMIBの現象（視覚消失現象）を引き起こす原因と考えられる、とする研究もある⁽¹⁹⁾。生理学的見地から、左右大脳半球間の干渉が、MIBの現象（視覚消失現象）を引き起こす原因と考えられる、とする研究も報告されている⁽²⁰⁾、⁽²¹⁾。すなわち、脳梁による時間遅れが、MIBの現象（視覚消失現象）と関係する可能性がある。ここで、MIBの現象（視覚消失現象）を説明しようとする仮説を整理してみよう。一般に、視覚機能は反応できる視覚刺激の強度範囲等について動的に調節が働く（Gain control）。この調節に関する事実を重点を置けば、運動に関連する抽象的なGain controlがMIBの現象（視覚消失現象）を引き起こす原因の可能性はある⁽²²⁾。ま

た意識として見えていなくとも、見ていた刺激の方向選択性を持つ残効が残った。この事実はMIBによる消失中であっても少なくとも視覚領第1野までは正常に働いていたことを示している⁽²³⁾。また、MIBの現象（運動誘導視覚失認）が起こって視覚失認していても、視覚的物体認識・表現は動作していることが明らかにされた⁽²⁴⁾。MIBの基本的特性として試験図形の消失は確率的、蓋然的であることが挙げられる。また消失が解消するのも同様に確率的である。この性質が実は現象の分析を困難なものにした。筆者らは4.1に示すようにMIB消去の同期化に成功し、消去瞬間を制御することが可能になった。成功の理由として、従来までの研究の大きな制限は消失する試験図形は視覚にして0.5°程度の小点に限られていたことが挙げられる。このため消失した後の領域で何が起るか分析が困難であった。筆者らは消去の瞬間の誘導図形の特徴を分析することにより自然なBSに相当する大きな図形要素の消失に成功した。更に大きな領域の消失の後に何が観察されるか分析が可能になった。

MIBの発展としてフリッカー誘導失認（FIB: Flicker Induced Blindness）も研究された⁽²⁵⁾、⁽²⁶⁾。

FIBはMIBと異なり消失が誘導されることもあるが、妨害されることもある。一般に10 Hz程度のフリッカーが用いられていたが、筆者らは1 Hzのフリッカで消失が成立することを示した。

原論文⁽¹⁶⁾にはMIBと視覚障害の一種である同時失認（Balint syndrome, Simultanagnosia）の類似性が指摘されている。同障害の患者は一度に一つの物しか見ることができない。もし注意が別の物体に移ると今まで見えていたものが見えなくなる。見えない物を揺るとその物が見えるようになる。同症状はMIBに非常に似ている。しかしBalint syndrome, Simultanagnosiaの原因は単一でない。MIBから推定されるのは背側の障害に近いと思われる⁽²⁷⁾。また統合失調症（schizophrenia）との関係も分析されている。ある種の視覚疾患では総合的あるいは全体的（holistic）認知が困難であり、MIB成立が妨害されるものと考えられる⁽²⁸⁾。

2.5 人工視野欠損・視覚的充填

MIBが発見されるとすぐに、同現象による視覚の消失を“人工視野欠損”（AS: Artificial Scotoma）と位置付ける研究が進んだ。視覚の消失を引き起こすASはBSと同一視してよいかどうかの検証には両者におけるFIを比較するのが一つの方法である。MIBと別に認知的FIの研究の一環でRamachandranにより動的ランダムドットの運動がドットのない無地領域に広がって、充填されていく現象が示された⁽²⁹⁾。Ramachandranはこの無地領域を“人工視野欠損”（AS）と呼んでいる。Ramachandranの研究であるFIによるASではなくMIBによるASももちろん研究された⁽³⁰⁾。またASとBSにおける共通の性質も研究された⁽³¹⁾、⁽³²⁾。筆者らは成功した大面積の消失を利用してMIBによるASのFIを詳しく分析することができる。

3. 実験環境・条件

4. で説明する実験の装置、環境は多岐にわたっているが、主たる表示装置はIiyama ProLite2607WS, 25.5 inch LCD WUXGAである。観察距離は54 cmまたは108 cmである。簡易ではあるが暗室で実験している。その他ノートパソコン16 inch FHD, タブレット10 inch 及び12 inch FHD, また高速表示確認のためEizo FlexScanT765 17 inch SXGA CRT スクリーンでMIB効果を確認している。また同様の効果を1.2×0.9 mのスクリーンに投影し遠近各種距離で観察しMIBを確認している。プロジェクタはPLUS U5-532h DLP DMD及びAcer H6510BD DLPである。また授業、学会のプレゼンやデモセッションにおいて大講堂における数mのスクリーンあるいは通常教室における表示を10～20 mの距離で観察しても特にMIBの観察に問題は生じない。大多数の聴衆は幼児も含め容易にMIBの知覚を報告する。しかし視覚研究の専門家で固視点の注視が完全でもMIBを知覚しない被験者を一人確認している。

主たる表示装置Iiyama ProLite2607WS, 25.5 inch LCD WUXGAの色相・輝度は次のとおりである。

LCDの輝度設定については下記表1を基本とするが、暗室においては高輝度すぎるきらいもあり、輝度を半減し、白を110 cd/m²にした条件でも実験を行った。基本的にMIBは刺激を無理なく観察できれば広い範囲の輝度値で成立する。

1.2×0.9 mスクリーンに上のプロジェクタによる投影の白輝度はPLUS U5-532h DLP DMDが241 cd/m², Acer H6510BD DLPが283 cd/m²であった。

実験に参加する被験者は筆者と同研究室及び学科の学生また事務職員である。学生らはボランティアによる参加で実験の意図は知らされておらず、また実験成否等により成績等の利害がないことを納得しており、実験結果が恣意的になることはない。また筆者ら以外は注視点を固視する視覚実験の経験がない。現象の確認は筆者らで実施し、必要に応じ学生らの被験者を採用した。

本実験は筆者ら所属大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の審査を受け承認されている。

表1 LCD CIExyY

Color	x	y.	Y cd/m ²
Black	-	-	0.42
Dark gray	0.32	0.36	15
Light gray	0.32	0.36	26
White	0.33	0.38	220
Red	0.46	0.34	41
Yellow	0.40	0.50	192
Green	0.38	0.62	141
Blur	0.14	0.08	13

4. MIB 分析・拡張の試み

4.1 消失の同期

MIB原論文及び原論文に続く追試・確認研究において試験図形の消失はいずれも確率的、蓋然的であった。また消失の解消も同様である。したがってどのような刺激布置及び相互運動の瞬間にMIBが生じるのか、更に継続し、いつ消失が解消するのか、分析が極めて困難であった。筆者らは図2に示すような刺激布置により消失の同期と消失の瞬間を特定することができた⁽³³⁾。図中央小点は固視点である。偏心度5°の位置に試験図形として0.25°の小円を正三角形上に配置する。各試験図形を中心として0.1°から2°まで2°/sの速度で青円環が拡大と縮小を繰り返す。消失は縮小から拡大に転じる瞬間に生じた。

4.2 大面積図形の消失

MIBの原論文及び引き続き取り組んだ研究において試験図形は視角にして0.5°程度の小点であることが多かった。前節で効果的なMIBの布置とそこでの消失の瞬間を特定できたので、更に効果を高め視角の大きな試験図形の消去を試みた⁽³⁴⁾。大きさは自然のBS以上すなわち5°以上を目標とした。実現できれば消失後のFIをBSと正當に比較できるからである。

成功した刺激布置を図3に示す。上下の黄円が試験図形である。同刺激を25.5 inch LCD WUXGAの表示装置を用いて54 cmの距離から観察すると、偏心度14°の位置にあり、直径14°である。誘導図形は試験図形の周囲で運動する青円環である。その運動をMIB効果を高めるべく工夫した。同円環は直径22°の位置に現れゆっくり18°の大きさまで滑らかに1秒間で縮小する。次に突然22°の位置に跳躍して戻る。この跳躍の瞬間に試験図形が消失する。突然の“不意変化”が消失を誘導するので、筆者らは図3に示す消失現象に対して“不意変化誘導失認”（TIB: Transilience Induced Blindness）と名付けた。

TIBは効果的であるので試験図形に従来の塗り潰し円図形ではなく各種のテクスチャを持った図形を採用できる。代表的な試験図形として同心円と放射線分によるテクスチャを検

図2 MIB消失の同期 黄色3小点は静止している試験図形である。青い円環はそれぞれ黄小点を中心に拡大・縮小する誘導図形である。試験図形から青誘導図形が拡大を開始する瞬間に試験図形は同期して消失する。

図3 MIB 大面積図形の消失 上下二つの黄円が試験図形である。青円環がゆっくり縮小し、試験図形の近辺で不意に跳躍的に拡大する。その瞬間試験図形が消失する。試験図形の視覚は自然のBSを超える大きさである。

動画像デモ

証する。

図4に同心円から成る試験図形の布置を示す。誘導図形の運動は図3と同様である。試験図形の消失は部分的ではなく全体が一斉に消失する。本同心円テクスチャの消失はFIの観点からは理論的の矛盾を含み興味深い検討課題である。**5.**の考察において議論する。

図5に放射線テクスチャによる消失の刺激布置を示す。やはり放射線は一斉に消失する。放射線の図形的意義は同心円に対峙するものであるが、FIの理論的観点からはやはり検討が必要である。

同心円のテクスチャが消失したことからFIとは機序が異なる可能性がある。消失後のFIについて検証が必要である。TIBが効果的なことを利用して各種のFIに関し予備実験を試みた⁽³⁵⁾。予備実験の結果、無地背景は輝度・色彩共に問題なくFIする。線分やテクスチャ等のFIの確認ができなかった。面の境界については確認を得るに至らなかった。

4.3 視野闘争による両眼性検証

VSS2011⁽³³⁾の発表会場で、TIBは単眼性か両眼性かとの質問を受けた。視野闘争(binocular rivalry)による検証を思い付きすぐに2日後の同Demo-Nightにおいて検証結果を質問者に説明し納得頂いた。視野闘争とは左右眼に異なる刺激を入れると通常両刺激は融合せず、いずれか片眼の刺激、あるいはまだら模様で左右刺激が観察される現象である。しかし特殊な状況では左右刺激を融合させることができる。

TIBが両眼性であることを図6に示す刺激布置で検証する。図の下方2白小点をそれぞれ左右眼でステレオ視の要領で観察する。注視点にあたる。赤と緑の円は試験図形で、注視点の上方で視野闘争になるが、等輝度に設定されているので融合し、黄色、実際は茶色に観察される。誘導の青円環は左右

図4 MIB 同心円環の消失 試験図形は同心円環である。消失するときは全円環が一斉に消失する。

図5 MIB 放射線の消失 試験図形は放射線群である。消失のときは全放射線が一斉に消失する。

図6 MIB 両眼性の検証 左右下の二つの注視点をも両眼融合で観察する。赤緑は等輝度に設定されていて融合すると茶色が観察される。MIBによる消失が単眼性であれば消失時に赤または緑が観察される。両眼性であれば黒背景が観察される。

同じで運動は同期しているので自然に融合する。さてTIBで赤または緑が単独で消失したときは残りの緑または赤が見える。一方両眼が一斉に消失したときは黒背景が見える。結論は後者であった。TIBは両眼融合後の機序によるものであることが示唆された。

4.4 MIB消失の時間経緯分析

4.3までのMIBでは消失は容易に確認できるが、信頼できる定量的計測に至らなかった。そこで本節では図7を用いて消失の時間経緯を計測する。注視点の8°上方に直径6.5°の白円を表示する。白円の境界に青円環が現れ750 msをかけて8°の直径まで拡大して消滅する。その後750 msは背景と白円の

図7 MIB 消失時間経緯の分析 注視点の上に一つの白円の試験図形がある。青円環は誘導図形であり、750 msで白円から拡大し消滅する。その後750 msは黒背景と白試験図形が静止画像で表示されている。同表示が1,500 ms周期で繰り返される。

図8 MIB 消失の時間経過、習熟度の影響 図7の刺激図においてMIB消失の時間経過を示す。MIB及び視覚実験に習熟した筆者 (Author) と未経験者である学科事務職員 (Staff) の比較を示す。誘導図形は750 ms表示され運動している。その間被験者は消失を確認したらキーを押し、消失が解消し試験図形が再現したらキーを離す。後半の750 msは試験図形のみ表示されている。縦軸は100回の試行結果における各時刻での消失の確率を示す。1.0は全ての試行でその時刻に消失していたことを示す。習熟者でも約300 msの反応遅れがある。

み表示されている。同表示が繰り返される。

被験者は注視点を見つめ続ける。MIB消失を知覚したら直ちにキーを押し、消失している間はそのままキーを押し続ける。消失が解消し白円が現れたらキーを離す。同観察とキー操作を100回繰り返す。

被験者として、実験に習熟している筆者の一人 (Author SN Male 63) と心理実験、視覚実験に全く経験のない事務職員 (Staff TA Female 39) の2名を用いて計測した。

測定結果を図8に示す。横軸は繰り返し表示される1500 msの時間経過である。縦軸は100回計測した結果のうち消失を知覚した回数を比率で表している。縦軸の値1.0はその時刻で100回全て消失を知覚していたことに相当する。ただし知覚とキー操作には時間遅れがあるので図中の時間上の位置は反応遅れ時間を含んでいる。SNは約300 msの時間遅れでほぼ毎回安定して消失を知覚していることが分かる。一方TAは700 ms以上の反応遅れがあり、ほとんど誘導図形が消滅してから反応している。更に消失知覚の率も最大40 %程度にと

図9 MIB 長時間消去の工夫 誘導図形を複数の円環にして継時的に出現、拡大させる。ただしその輝度を徐々に背景に近く変化させる。複数円環が運動中は消失が継続する。

動画像デモ

どまっている。しかし現実のTAの内観報告としては「見ているとすぐに消えるのは分かった。固視を続けるのが難しい。目が動いてしまう。」であった。実際に観察中のTAの瞳は不安定に動いていた。また大きな反応遅れは訓練不足の技術的問題で、MIBの消失が遅れているわけではないと考える。

4.5 長時間消失の工夫

4.2でTIBによる効果的な大面積図形の消失に関する検討内容について述べたが、本節では更に消失を長く継続させることはできないかどうか、また可能であれば消失が回復し試験図形が再現する時刻も制御できないかどうかに関する研究内容に関して解説する。まず、初めに誘導図形を複数にして継時的に多数の誘導図形を表示した場合、消失が続くのではないかという仮説を基に実験を行った。しかし結果は失敗であった。新誘導図形が現れるたびにフリッカ刺激のようになり消失が妨害された。本現象は既にFIBで確認されていたことであった^{(25), (26)}。そこで最初の誘導図形は背景に対して高いコントラストで表示し、後に表示される誘導図形は徐々にコントラストを落とし、最後は背景と同じ輝度値になるような実験を行った。

刺激布置を図9に示す。試験図形形状は図3と同じであるが白色である。試験図形から暗灰色の円環の誘導図形が14°の位置まで拡大する。最初の円環に続き0.875°間隔で五つの円環が表示される拡大する。その輝度は背景黒に等分して近づく。誘導図形は790 ms表示されている。その後1,210 msは背景と白円のみ表示されている。

同刺激により少なくとも誘導図形が表示されている間は確実に消失が続くことが可能になった。4.2で工夫したTIBを拡張し、複数誘導図形を継時的に表示したので、筆者らは連続不意刺激誘導失認 (CTIB: Continuous Transilience Induced

Blindness) と名付けた⁽³⁶⁾。

4.6 異方性分析

4.5で信頼性高くMIBを制御することができるようになった。本節ではMIBの異方性、つまり試験図形消失の配置における依存性について解説する。既に述べたように、原論文では第二象限の要素が消失しやすいと主張されている。その後の各種、同様の研究でも消失の可否を第二象限で検証している研究が多い。しかし筆者らの実験結果では特に第二象限の消失が容易である傾向とはならなかった。むしろ被験者の個人のばらつきとして上下の試験図形のうち上または下が消失しやすいという実験結果がある頻度で得られた。しかしいつも安定して両者に差があるわけではなかった。

更に筆者らの実験では試験図形の配置として垂直方向の方が水平方向の配置よりも容易に消失する傾向があることが確認された。本節では方向の異方性を検証する⁽³⁶⁾。図10に検証した4方向を示す。誘導図形は4.5で説明したものと同じであるが、円環の数が多く1,800 ms誘導図形が表示されている。

被験者は筆者3名と学生1名の計4名である。それぞれが30回の計測を行い全120回の計測とする。

図11に計測結果を示す。横軸は時間でありMIBによる各時

図10 MIB 異方性の分析 試験図形の配置を垂直、水平、 $\pm 45^\circ$ 方向にし、消失の異方性を分析する。

図11 MIB 異方性分析 時間特性 横軸は時間経過である。1,800 ms誘導図形が運動し、後半1,800 msは試験図形のみ表示されている。縦軸は多数回の試行結果における各時刻での消失確率である。垂直方向の試験図形配置が消失しやすい。

図12 MIB 異方性の定量的分析 図10における各方向の消失確率を時間累積した。縦軸1.0は誘導図形が出現中100%消失していることに相当する。

刻における消失の確率を示している。縦軸の意味は図8と同じである。実験の結果、垂直方向の配置が容易に消失し、水平方向の配置は極めて消失が困難であり、また $\pm 45^\circ$ 方向は消失の確率がちょうど両者の中間となることが明らかになった。

上記は時間経緯を示す結果であるが、時間的に消失確率を累積してより明確に異方性を示すことができる。結果を図12に示す。

図11の傾向と同様に垂直方向の配置が容易に消失しやすい傾向にあることが分かる。

試験図形消失が垂直方向の配置で発生しやすいとされる異方性が真とすればMIB成立の何らかのメカニズムに関連していると思われる。

4.7 輝度非対称性分析

4.6ではMIBに試験図形の布置方向に関する顕著な異方性があることを示した。本節では同様に背景と試験図形の輝度に関し、顕著な非対称性があることを示す⁽³⁶⁾。従来の多くの研究において刺激図は背景に黒を用い、試験図形に白または明るい黄または、赤、緑等が使われていた。筆者らも試験図形の色彩、輝度条件についてMIBがかなり頑健に広い範囲で成立することを確認した。しかしMIBの検証中に輝度の組合

図13 MIB 輝度非対称性分析 図10におけるV(垂直方向配置)において輝度を反転した。黒円が消失する試験図形である。

図14 MIB 輝度非対称分析 時間特性 図11と同じ、白線が黒背景と白試験図形、黒線が白背景と黒試験図形の消失時間特性を示す。

図15 MIB 輝度非対称性の定量的分析 図14における白及び黒試験図形の消失確率を時間累積した、縦軸1.0は誘導図形が出現中試験図形は100%消失していることに相当する。

せ条件によってMIBの効果に差があることが判明した。

図13に白背景、黒試験図形の条件のMIB刺激図を示す。図10におけるV(垂直方向配置)において輝度を反転したものである。誘導円の運動は同じである。

図14にMIBによる試験図形消失の時間経過を示す。被験者は**4.6**と同じである。図11と同じように横軸はMIBの経過時間である。1,800 msの間に誘導図形が運動する。その後の1,800 msは背景上に試験図形のみ表示され、また同表示を繰り返す。縦軸は各時刻におけるMIB消失の確率である。黒背景—白試験図形の条件が逆の輝度条件よりも容易に消失することが分かる。

図15に図14における白及び黒試験図形の消失確率を時間累積した結果を示す。縦軸1.0は誘導図形が出現中試験図形は100 %消失していることに相当する。

図16 MIB 等偏心度円環の消失 白い円環が等偏心度にある試験図形である。内外の境界から灰色の誘導図形が内側及び外側へ向かって運動する。

図17 MIB 複円環状同心円の消失 白い複数の同心円状の円環が試験図形である。内外の境界から灰色の誘導図形が内側及び外側へ向かって運動する。

図18 MIB 複放射線同心円の消失 白い複数の放射線状の円環が試験図形である。内外の境界から灰色の誘導図形が内側及び外側へ向かって運動する。

動画像デモ

4.8 円環図形の消失

4.2において効果的なMIBを見だし、BSに相当する大きな試験図形の消失に成功した。そこで注視点を中心にBS位置に相当する等偏心度上の大形の円環を対象としたMIB消失を試みた⁽³³⁾。しかし不可能ではないものの円環の消失する条件はかなり限定されることが判明した。そこで**4.5**において更に有効な誘導図形を見出したことから、円環図形の消

図19 MIB 円環状図形消失 時間特性 円環図形が塗り潰し、同心円、放射線から成る条件における消失の時間特性である。横軸は時間経過である。790 ms誘導図形が運動し、後半1,300 msは試験図形のみ表示されている。縦軸は多数回の実験結果における各時刻での消失確率である。塗り潰し試験図形は消去が困難である。

失を再度試みた⁽³⁷⁾。特に予備実験により、試験図形を塗り潰しで表示する場合、あるいは同心円等のテクスチャで表示する場合においてMIBの効果に差があることが判明した。そこで本節では円環図形について、塗り潰し、同心円環、放射線分による表示についてMIB効果を比較する。

図16に等偏心度上円環を示す。円環は白い塗り潰し図形であり、外周が12.25°内周が8.75°の位置にある。誘導図形は外周及び内周の位置から7°の視角にわたって運動する。外周では拡大、内周では縮小する。複数の誘導図形の間隔は0.857°である。運動は790 msで終了する。その後1,210 msは黒背景の上に白円環のみ表示されている。2,000 msを周期として表示を繰り返す。

図17に円環を複数の同心円環テクスチャで表示した刺激図を示す。同テクスチャについての詳細は5. の考察で検討するがFIの理論からは矛盾があり、検討に値するものである。誘導図形の運動は図16と同様である。

図18に円環を複数の放射線分テクスチャで表示した刺激図を示す。放射線分は上記同心円と対峙するものであり、FIの理論からは同心円とは異なる効果が予想されるものである。誘導図形の運動は図16と同様である。

図19に円環図形のMIBについて塗り潰し、あるいは同心円、放射線から成るテクスチャ条件での消失の難易を示す。被験者は4.6と同様である。

図の各軸の意味は図11等と同様であるが時間軸の長さが異なる。明らかに塗り潰し図形(Filled annulus)はテクスチャ表示図形、同心円(Rings)、放射線分(Radial lines)に比較し、消失困難であることが分かる。

図20に図19における試験図形の各塗り潰し条件による消失確率を時間累積した結果を示す。図中各条件は塗り潰し図形(Filled annulus)、同心円(Rings)、放射線分(Radial lines)を示す。縦軸1.0は誘導図形が出現中試験図形は100%消失していることに相当する。

同心円と放射線分は図18の実験でも述べたとおりFIの理論的検証に関係しているが、本実験結果では有意な差がないと判断できる。しかし4.9に示す扇形の試験図形では両者に

図20 MIB 円環構成条件の定量的分析 図19における各条件の消失確率を時間累積した。縦軸1.0は誘導図形が出現中100%消失していることに相当する。

より大きな差があるようにも判断でき、明確な結論は下せない。

4.9 長線分図形・扇形図形の消失及び中心視近辺の消失

4.8では等偏心度にある円環状の試験図形を対象にMIBによる消失を検証した。等偏心度の位置は視覚機能の各種性質が一定であることから同時に消失するのは合理的と考えられる。一方注視点を中心として放射状の位置にある試験図形は等偏心度と対照的な性質を持つ。すなわち注視点付近では各種解像度、感度とも高く周辺では低い。放射線状の図形もまとまって消失するか検証することは興味深い。

4.1において消失は試験図形近辺に誘導図形が接近した後反転して逆に遠ざかる瞬間に消失が効率的に生じた。そこで図21に示すように、放射線状の一对の白線分を試験図形とし、同様に放射線状の青線分を回転させることにした。回転は白線分に両側から接近するように回転し、次に反転して離れるように回転する。白線分付近で青線分が消滅や生成をする。MIBによる白線分の消失は青線分の消滅と生成の瞬間に生じることが分かった⁽³³⁾。

青線分の点滅がMIBに効果があると予想された。そこで背景の回転をやめ、試験図形の付近で誘導図形を点滅させる布置を考案した。図22にその布置を示す。白線分が試験図形であり、青線分が誘導図形である。青線分は一斉に1 Hzで点滅する。フリッカ誘導失認(FIB: Flicker Induced Blindness)である。時折白線分が消失する⁽³³⁾。一对両者共消失することもあるが、多くは片側のみ消失する。図21よりも効果的であった。従来一般にFIBは10 Hz程度の点滅速度が研究されていたが、本布置においては10 Hzでは効果がない。位置運動と点滅は神経生理的には近い刺激である。図21及び図22の実験結果から試験図形の消失を誘導するMIBとFIBに共通する機序の存在が推定される。

上記のとおり放射線方向の試験図形もMIBによる消失が可能であることが分かった。そこで4.5で工夫した効果的な誘導図形を用いて再度放射線方向に伸びる試験図形の消失を検証する⁽³⁷⁾。線分の消失が可能であったことから、ここでは線

図21 MIB 放射線方向長線分消失の試み 白2線分が試験図形である。青放射線は白試験図形から互いに離れるように、あるいは近づくように回転する。時折試験図形の消失が観察される。

図22 FIB 放射線方向長線分消失の試み 白2線分が試験図形である。青放射線は同位置で1 Hzの周期で点滅する。点滅誘導失認である。時折試験図形の消失が観察される。上記図21よりも効果的である。

図23 MIB 放射線方扇形図形消失の試み 白2扇形が試験図形である。複数放射線は試験図形から離れるように運動する。時折試験図形の消失が観察される。

図24 MIB 放射線方扇形図形消失の試み 白2扇形が試験図形である。扇形は放射線方向の線分からできている。外側複数放射線は試験図形から離れるように運動する。時折試験図形の消失が観察される。

分ではなく放射線方向に伸びる扇形 (Sector) の試験図形を用いる。

本節でも上記円環図形と同様に塗り潰し図形 (Filled sectors), 放射線分 (Radial lines) 及び同心円弧 (Arcs) の3条件によるMIBを比較する。

図23に塗り潰し図形による扇形のMIB消失の図を示す。扇形は注視点に近い視角 1.75° から周辺視にあたる 17.5° にわたる偏心度上にある。扇形の中心角は 20° である。図に示すように7個の放射線分による誘導図形が試験図形の両側から運動を開始し中心角の意味で 60° になるまで運動する。各放射線間間は 1.1° の間隔である。運動時間は670 msである。その後は黒背景と白扇形図形が1,330 ms静止画像表示される。2,000 ms周期で表示を繰り返す。

図24に試験図形として放射線分 (Radial lines) から成る扇形図形消失の刺激布置を示す。2扇形が試験図形である。扇形は放射線分からできている。他の条件は図23と同様である。

図25に同心円弧 (Arcs) から成る扇形図形を対象とするMIB消失の刺激布置を示す。2扇形が試験図形である。扇形は同心円弧からできている。他の条件は図23と同様である。

図26に扇形図形のMIBについて塗り潰し (Filled sector), あるいは同心円弧 (Arcs), 放射線分 (Radial lines) から成るテクスチャ条件での消失の難易を示す。被験者は4.6と同様である。図の各軸の意味は図19等と同様である。消失の傾向としてはテクスチャ表示図形の同心円弧 (Arcs) の条件が消失容

図25 MIB 同心円弧扇形図形消失の試み 2扇形が試験図形である。扇形は同心円弧からできている。外側複数放射線は試験図形から離れるように運動する。時折試験図形の消失が観察される。

Disappearance of Sector

図26 MIB 扇形図形消失 時間特性 扇形図形が塗り潰し、放射線、円弧から成る条件における消失の時間特性である。横軸は時間経過である。670 ms誘導図形が運動し、後半1,330 msは試験図形のみ表示されている。縦軸は多数回の実験結果における各時刻での消失確率である。

図27 MIB 扇形構成条件の定量的分析 図26における各条件の消失確率を時間累積した。縦軸1.0は誘導図形が出現中100%消失していることに相当する。円弧から構成された扇形の消失が容易である。

図28 MIB 中心視付近の消失 刺激図は図25と同じであるが、注視点に及ぶまで扇形の先端を伸ばしてある。それでも図25と同様に消失が起こる。主観的な認知としては注視点近辺の2~3の小さな円弧を残して全円弧が消失する。

易であることが分かる。

図27に図26における試験図形の各塗り潰し条件による消失確率を時間累積した結果を示す。同心円弧と放射線分は図18の実験でも述べたとおりFIの理論的検証に課題を与えている。FIの理論では同心円弧が有利と予想でき、本実験の結果は合理的と思われる。しかし両者に明確な差があるとは判断できず、明確な結論は下せないとの見解である。

上記の扇形消失において同心円弧 (Arcs) 表示において、消失する場合は固視点に近い円弧要素も遠い位置にある円弧要素も一斉に消失することが確認された。そこで固視点、中心視付近での消失を検証した。

用いた刺激は図25と同じであるが、扇形は中央固視点から17.5°まで表示している。測定結果を図28に示す。中心視付近の0.5°程度の領域を除いて扇形は一斉に消失した。同心円弧の数にして中心視付近の2~3個を除いて消失する。

中心視付近の消失は予想外の結果であった。消失が促進した理由の一つは複数同心円弧から成る扇形が中心付近の任意の位置で分離されやすいことが原因と推測される。

4.10 充填現象の分析

古典的MIBでは“Blindness”と呼ばれるように“見えない”と言う視覚現象を意味していた。ところが視覚現象の枠を越

図29 MIB 背景色彩FIの確認 MIBによる消失後背景の色彩がFIする。上下位置において試験図形は交互に消失する。そのため擬似的な仮現運動と同定することができる。

動画像デモ

えて“失認”と呼ばれることもある。しかし“失認”は“見落とし”，すなわち気付かないことも含むがMIBでは“見えなくなった”ことに気付いている。MIBでは試験図形である小点が“見えなくなる”ことを、素材に“消失” (disappear) と表現している。その根拠は“消失”した後に背景が見えるような印象を持つからである。しかし視覚現象として正確に同定しようとすると、確かに見え方は変化した。が、現実に物体が消滅して背景が見えるようになったのとは同一ではない。本章では“消失” (disappear) について立ち返って検討する。具体的には“消失”後の領域に自然のBSと同様のFIが成立するか検証する。

4.10.1 消失の解釈、擬似仮現運動

4.10で述べたようにMIBは“消失”と同一ではない。正確には“人工視野欠損” (AS: Artificial Scotoma) が生じ、その領域にFIが起これと考えられている。確かに従来の小試験図形の消失とは合理的に符合する。しかし4.2で検証したような、自然のBSに相当する視角を持つASによる実験によればBSのFIと整合しない場合もある。例えば図4のように同心円環が一斉に消失するのはFIの理論と整合しない。また既に述べたように、各種のFIに関し予備実験⁽³⁵⁾では、線分やテクスチャ等のFIは否定的であった。

そこで本章では従来のMIBを少し工夫して擬似的な“仮現運動” (Apparent Motion) を観察できる刺激布置を実現した^{(38)・(39)}。すなわち試験図形は“消失”したのではなく、“移動”したように観察できる。この条件はASより自然である。

刺激図例を図29に示す。図は背景が赤である例を示している。赤背景の検証の意味は赤色という色相がFIするか否かを確認するためである。もちろん背景が黒の条件及び試験図形が図4のような同心円環でも消失と背景のFIを確認した。

図29において試験図形は上下8°の視角位置に直径6.5°の試験図形がある。誘導図形は0.2°の太さの青円環で試験図形の外周から視角8°の大きさまで500 msの間に拡大し消失する。

図30 MIB 線分FI 白細線分(実験3) MIBによる消失後背景の白細線分がFIして結合して見えるか検証する。

動画像デモ

図31 MIB 線分FI 黒細線分(実験4) MIBによる消失後背景の黒細線分がFIして結合して見えるか検証する。図22と比較し輝度非対称性を原因とするFI効果に差が認められるか検証する。

図32 MIB 線分FI 黒太線分(実験5) MIBによる消失後背景の黒太線分がFIして結合して見えるか検証する。図23と比較しAS中の空間周波数感度依存性が認められるか検証する。

図では下に誘導円が表示されているが、次に誘導円は上の試験図形で同様に拡大する。1,000 msの周期で表示が繰り返される。誘導円により試験図形は交互に消失し、擬似的な仮現運動が観察できる。消失の瞬間は誘導円が現れたときであり、再現は誘導円が消えて、他の試験図形で運動を開始したときである。

被験者は筆者3名(SN Male 63 year old, RS Female 23 year

old, MK Male 23 year old)と11名の学生である(11 Male and 1 Female 22 year old)。被験者にまず上記の擬似AMによるMIBで消失を体験させ、実験法に習熟させた。図29の背景が黒の刺激によるMIBの実験を実験1とする。試験図形が同心円の場合を実験2とする。両実験においては、全被験者が容易に試験図形の消失を確認した。

次に以下に示す各種FIの実験についてYes-No法による口頭報告を求めた。すなわちMIBの消失が観察されたとき、その領域に例えば線分がFIした、すなわち線分が接続されて観察されたか否か報告させた。

本実験において毎回のMIBの消失が観察されたかどうかの報告は必要ない。観察中に十分な頻度で消失が起こればそのときにFIの可否は報告できる。

4.10.2 線分の充填

歴史的にBSでは各種のFIが確認されている。BSを横切る線分は、滑らかな様背景の上で接続されて見える。図30を用いてMIBによるASに線分がFIするかどうかを検証する。図では縦正中線と等偏心度上の円環が試験図形に重なっている。試験図形が消失すると一般に背景の黒色が観察されるが、そこで上記2線分は十字形に接続されるか否か検証する。図において線分は白色で太さは 0.2° である。本実験を実験3とする。結果は被験者14人の全員がFIに否定的であった。

4.7において、MIBは輝度非対称性を持つことを示した。白試験図形は消失しやすい。図30では線分が白であったので消去しやすい条件であることも懸念される。そこで輝度条件を変え線分を黒とした。黒図形は消去されにくいことで逆にFIが容易となることが期待できる。図31に刺激図を示す。結果は被験者14人中3名がFIを観察した。14人中3名の回答は割合としては少ないと判断できるため、統計的にはFI不可とすべき結果である。

自然のBSは 15° の周辺視位置に当たりそこでの空間分解能は中心視に比べてかなり低い。本実験においても試験図形は 8° の位置にあり、図31のような細線のFIは知覚困難と考えられる。そこで図32に示すようにFIさせたい線分を 2.5° の太さにした。結果は14人中8人がFIを報告した。同データは統計的にはNSとなるが、FIを否定するものではなく、実験3及び4に比べFIについて肯定的な結果である。

4.10.3 充填における重なり知覚

前実験5の条件において円形線分を灰色にした。図33に刺激図を示す。黒線分と灰色線分とどちらがFIして観察されるであろうか？ すなわち重なり合う2者のうち手前になるのはいずれであろうか？ 本実験を実験6とする。本実験では消失の後に黒縦線分または灰色円環のいずれが観察されたか強制選択させた。同様な条件でBSでは線分の長さが長い方がFIすることが主張されている⁽¹²⁾。結果は14人中11人が灰色円を知覚した。

図33 MIB 線分FI 重なり知覚(実験6) MIBによる消失後背景の黒と淡灰線分がFIして見えるときいずれかが手前に他方が背後に重なって見えるか検証する。

表2 充填実験のまとめ

Exp	Yes/No	Response type	No. of Responses.	Significance
1	Background?	Background	14	** (1)
		White disk	0	
2	Background?	Background	14	** (1)
		Circle	0	
3	Thin line White?	Background	0	** (1)
		Line	14	
4	Thin line Black?	Line	3	* (2)
		Background	11	
5	Thick line black?	Line	8	NS (3)
		Background	6	
6	Foreground?	Gray ring	11	* (2)
		Black line	3	
7	Gray disk?	Gray disc	11	* (2)
		Background	3	

** (1) Binomial test $p < 0.0001$

* (2) Binomial test $P = 0.0287$

NS (3) Binomial test $p = 0.6047$

4.10.4 充填における境界の知覚

BSでは線分FIは可能であるが、塗り潰し図形のFIは否定的であることが主張されている⁽¹³⁾。MIBによるASでも塗り潰し図形のFIは否定的であるかどうかについて、図34に示すような領域のFIに関する実験を行った。中央に刺激図形の中心にその境界が重なるように灰色の円図形を配置した。白試験図形が消失したときその後の領域は灰色円が完結して見えるか検証する。結果は14人中11人が補完された灰色円を知覚した。本実験は灰色円が黒背景か強制選択させた結果である。

4.10.5 充填現象のまとめ

実験1から7について結果を表2にまとめる。実験数が少数であるので二項分布の検定を用いている。Yes/Noが有意な結果は問題ないが、NSであってもFIを否定できない状態と評価すれば肯定的な結果である。実験6と7は恣意的に決めた2者択一の結果であるので、更に正確な評価としてはFI内容の判断が困難な場合を考慮すべきである。実験7は先行する研究と矛盾する結果である。先行研究⁽¹²⁾における境界の試験図形配置はBS中心に頂点が位置する正方形及びBSに四半分重畳する円図形であると報告されている。すなわち補完の境界

図34 MIB 線分FI 領域境界(実験7) MIBによる消失後黒背景と灰円の境界がFIして見えるか検証する。すなわち黒背景上に補完された灰円が見えるか検証する。(動画像デモ)

動画像デモ

表3 MIBとBSのFI比較

Dimension	MIB	FI MIB	FI theory	FI BS
Luminance & Color	✓	✓	✓	✓
Line & Texture	Thin	✓	-	?
	Thick	✓	- ✓	✓
Border	-	-	?	-
DRD	-	-	?	✓

はかなり屈曲していると考えられる。一方図34における境界は直線に近い。このような形状的条件が両者の差になったことが考えられる。

上記結果を踏まえてMIBとBSにおけるFIを比較すると表3のとおりとなる。表中✓は肯定的に判断された項目である。MIBにおいては動的ランダムドット(DRD)を除いて各種の図形要素が消失する。しかしMIBにおけるFIは一樣な背景は肯定的であるものの線分のFIは有意に肯定できない。領域のFI(Border)は一応有意にFIするが、自然のBSのFI(FI BS)とは矛盾する。BSではDRDもFIする。以上のことからMIBによるASとBSのFIは従来の知見ほど同一視できないと結論できる。またFIの理論においては輝度境界から一樣領域へ輝度値が伝搬充填されるとされる。更にその伝搬は途中の明確な輝度変化で停止されるとされている。ところが表に示すようにMIBによる消失をFIとすると理論と整合しない結果となった。

4.11 背景・試験図形の順応要否分析

古典的MIBの研究において、消失する試験図形については背景上で位置を固定して固視される輝度及び色彩等について順応することが必要とされてきた。事実MIB観察中に固視が破れて眼球運動があるとMIBの消失は失われる。ところが固

図35 MIB 背景色変化 上段に刺激を示す。白円が試験図形である。上下の試験図形に交互にMIBを実行する。消失の瞬間に背景色を変化させる。下段に知覚されるMIBを示す。消失後の領域には、例えば順応した青ではなく変化した黄の背景がFIする。背景の輝度・色相の順応はMIB成立に無用である。

図36 MIB 試験図形色変化 上段に刺激を示す。青と黄円が試験図形である。上下の試験図形に交互にMIBを実行する。消失の瞬間に試験図形色を変化させる。下段に知覚されるMIBを示す。消失後の領域には、いずれも黒背景がFIする。

視は必要ではあるが、ある種の順応は無用であることを見いだした。本節ではまず順応の要否について検証する。

4.11.1 背景輝度及び色相交換

MIB中に固視が破れると消失は失われる。しかし通常の意味の輝度と色相の順応が必要であるとの必然性はないことが筆者らの実験で確認された。本節ではMIB消失の瞬間に背景の輝度と色相を変更しMIBの成立を検証する⁽⁴⁰⁾。

図35の上段にMIB消失の瞬間に背景を交換する刺激布置を示す。背景は黄と青で交換されるので輝度及び色相が交換される。上下視角8°の位置に6.5°の白円を配置し、試験図形とする。上下の試験図形について交互に5本の円図形が試験図形の境界から継時的に1,000 msの間拡大し、8°の位置で消失する。上下のMIBを2,000 msで繰り返す。誘導図形が現れるとすぐにMIB消失が起こる。知覚される結果を下段に示す。例えば誘導図形が現れる前は青背景であったとする。誘導図形が現れ拡大運動を開始する瞬間に背景が黄に変わる。消失した白試験図形にFIするのは新たに変わった黄色である。MIB消失において背景の輝度及び色相に順応する必要はないことが判明した。

4.11.2 試験図形の輝度及び色相の交換

図36に試験図形について輝度及び色相に関する順応が必要

図37 MIB 背景及び試験図形色変化 上段に刺激を示す。青と黄円が試験図形である。上下の試験図形に交互にMIBを実行する。消失の瞬間に背景及び試験図形色の両者を変化させる。下段に知覚されるMIBを示す。消失後の領域には、いずれも新しく変化した背景がFIする。

か否か検証するための刺激図を示す。背景は黒で変化しない。試験図形がMIB消失の瞬間に青から黄へまたは逆に交換される。試験図形の輝度及び色相の順応が途切れるものの消失には支障ない。FIするのは背景の黒である。本知見は図形の交換がMIB成立の瞬間であることが重要である。もちろんMIB消失中に試験図形を交換すると消失は中断される。

4.11.3 背景と試験図形の同時交換

図37に背景と試験図形を同時に交換する刺激図を示す。図35と図36を組み合わせたものである。両者が同時に交換されてもMIBに支障はない。FIするのは交換された新しい背景である。

4.11.4 MIB消失中の背景の交換

前節までの検証はMIB開始の瞬間に背景や試験図形を交換した。それでもMIBは変わらず成立することが分かった。それでは更にMIB開始に背景が変化し、MIBにより消失している途中の瞬間に更に背景を交換したらMIBは障害されるであろうか。図38に検証のための刺激図を示す。図で背景は当初は黒である。誘導図形が運動を開始し試験図形が消失する瞬間に背景を青にする。具体的には図に示すように青円図形を表示する。本刺激においてMIBは1,000 ms継続するので500

図38 MIB 消失中背景色変化 上段に刺激を示す。白円が試験図形である。試験図形の背景には青及び黄円を表示する。上下の試験図形に交互にMIBを実行する。MIBによる消失が続いている途中の瞬間に試験図形の背後にある、例えば青円を黄円に変化させる。下段に知覚されるMIBを示す。消失中の領域には、いずれも途中で変化した背景がFIする。すなわち青から黄に変化して見える。白円は再現しない。

図39 MIB 消失による残効 上段に刺激図を示す。矢印は時間経過である。円環状に並んだ黄円が試験図形である。対角の位置にある2か所にMIBをかける。黒円環が誘導図形であり、黄円の境界から拡大し消える。次に誘導図形は位置を反時計回りに移して同様にMIBをかける。1,500 msで1周する。下段に知覚結果を示す。MIB消失は誘導図形が消失後も継続し、図に示すように赤背景が観察される。黄円の消失による残効は観察されない。MIBは実図形のみならず残効も含めて消去することが分かった。しばらく観察の後刺激を上段右に示す静止白背景に変える。ただし黄円試験図形の境界に黒円環を描画しておく。下段右に示すように通常の残効が観察される。

ms経過したところで青円図形を黄円図形に変換する。

知覚される結果を下段に示す。MIB開始時には新しく変換した青がFIし、500 ms後に背景円が黄に交換されるとMIBの消失は成立したまま、新しく変換された黄がFIする。

4.12 MIB消失における残効

MIBにより消失していた試験図形の負残効はMIB終了後に正常に成立することが分かっている⁽⁴¹⁾。それではMIBによる消失の瞬間の残効は通常と同一であろうか？ 本節ではMIB消失瞬間の残効を検証する⁽⁴²⁾。

図39にMIB消失による残効を観察するための刺激図を示す。背景を赤として8個の直径3.5°黄色試験図形を直径20°の円環状に配置する。対角の位置に二つの誘導図形を表示する。誘導図形は反時計回りに位置を移動する。1,500 msで1周する。MIBによる消失は図下段に示すように、誘導図形的位置とその一つあるいは二つ前の試験図形が消失して知覚される。黄試験図形が消失すれば、実画像であればその後に補色の残効を残すはずであるが、図に示すとおり背景の赤が周囲と変わらず一様に知覚される。しばらく観察の後、白背景を表示すると図のとおり通常の残効が観察される。

上記検証で確かにMIBによる消失した試験図形の残効が残ったが、上記刺激はMIB消失が中断している時間は通常どおり観察できるわけであるから、その見えていたときの残効で、MIBに係る残効とはみなせない。すなわちMIB解消後の残効の分析としては不十分である。MIB消失による背景の赤の知覚がMIB解消後に残効として検出できるかどうか検証を行う必要がある。そこでより精密な検証として図40の

図40 MIB 消失の残効確認 上段に刺激図を示す。矢印は時間経過である。四つの黄円が試験図形である。右上と左下の対角の位置にある2か所に交互にMIBをかける。黒円環が誘導図形であり、黄円の境界から拡大し消える。下段に知覚結果を示す。MIB消失により赤背景が観察される。赤背景の上に黄試験図形の残効は残らない。しばらく観察の後刺激を上段右に示す静止白背景に変える。ただし黄円試験図形の境界に黒円環を描画しておく。下段右に示すように通常の残効が観察される。

ような工夫をした。同図では四つの試験図形のうち二つのみMIBにより消去する。この二つは最大観察時間の半分は消失している。ほかの二つは常時観察される。両者の残効の強さに差が見られるか否かを検証した。MIB観察の時間を変えて試したがいずれの観察時間でも両者に差は見られなかった。この結果からMIB中であっても真に順応は成立し、残効に貢献すると判断できる。またMIB消失中に「見えている」図形要素は残効に反映しないと推測できる。したがってMIBは残効に関連するV1、V2等よりも高次の視覚経路で成立することが示唆される。

4.13 消失時間遅れ・残効

4.11では誘導図形が運動を開始すると同時に消失が生じると考えていた。しかし前節においてMIBによる消失を少し注意深く観察すると、試験図形が拡大している位置において黄試験図形が消失し切らず不鮮明に観察できることに気付いた。隣の位置、すなわち既に誘導図形が表示されていないところでは明確に背景の赤がFIしている。この現象はMIBによる消失の成立に時間遅れがあること、また誘導図形が隣の位置に移動する時間、約190 msの間に消失成立は完了することが原因と推定した。本節では消失の開始時間遅れ(Onset delay)を検討する⁽⁴³⁾。

刺激図を図41に示す。試験図形の数を増加し一つの試験図形において誘導円が運動する時間を約167 msに短縮した。その結果消失開始時間の遅延をより明確に観察できるようになった。誘導円の運動している中央に明確に試験図形が観察される。誘導円が隣に移動した後は白背景が一つあるいは二つ後方の位置まで観察される。消失の開始遅れ(Onset delay)は167 ms以下であることが分かった。

上記は高輝度の白背景上に色相を持ち背景に比較し輝度の

図41 MIB 消失開始 (onset) の遅れ 円環状に並んだ円図形が試験図形である。対角の位置にある2か所にMIBをかける。黒円環が誘導図形であり、色円の境界から拡大し消える。次に誘導図形は位置を反時計回りに移して同様にMIBをかける。2,000 msで1周する。MIBにより誘導図形の後に白背景が観察される。消失は誘導図形が消失後も継続する。しかし誘導図形が拡大している位置の色円は消失せず明確に観察される。すなわちMIB消失開始 (onset) に時間遅れがあることが分かった。

動画像デモ

図42 MIB 消失開始 (onset) の遅れ 図41に同じ。ただし試験図形は白であり、背景は各位置に色扇形が描画されている。MIBにより誘導図形の後に背景色が観察される。消失は誘導図形が消失後も継続する。しかし誘導図形が拡大している位置の白円は消失せず明確に観察される。すなわちMIB消失開始 (onset) に時間遅れがあることが分かった。

動画像デモ

低い試験図形を用いている。4.7で検証したように、この輝度設定はMIB消失に不利な条件である。そこで背景と試験図形の色相を交換し同様の結果が得られるか検証した。刺激図を図42に示す。背景として多数の色を用い、白円図形が試験図形である。

MIBを観察の結果、消失はより効果的で最大三つ後の位置

図43 MIB 残効図形の消失 円環状に並んだ円図形が試験図形である。一部に色彩が付与されている。対角の位置にある2か所にMIBをかける。黒円環が誘導図形である。誘導図形が表示される位置及びそこから時計回りに2か所、試験図形は白背景の黒円環である。白試験図形3個は誘導図形を追って位置を移動する。その他の位置は図41と同様の色彩で描画される。MIBにより誘導図形の後の位置では黒円環の消失とともに白背景が観察される。消失は誘導図形が消失後も継続する。しかし誘導図形が拡大している位置の色円は消失せず明確に一つ反時計回りに隣の色円の残効が観察される。すなわち残効図形のMIB消失開始 (onset) に時間遅れがあることが分かった。

動画像デモ

まで消失が継続する場合も観察される。しかし、誘導図形の位置では同様に明確に白円が観察される。

4.14 残効図形の消失

4.11において背景をMIBの開始の瞬間及び消失中に交換しても消失は成立することを示した。それでは順応していた試験図形を交換した後に残る残効は消失するのであろうか。本節では残効を対象にしたMIBを検証する⁽⁴³⁾。

刺激布置を図43に示す。基本的に図41と同様であるが、誘導図形の位置とそれに続く二つの位置は背景と同じ白である。残効を明確に観察するため黒円環を描画している。誘導図形の位置にある試験図形は誘導図形が現れて拡大する瞬間に白に交換される。通常のとおり補色残効が現れる。補色残効はMIBにより消失するか、また消失開始時間遅れがあるか、また誘導図形が消失後も残効MIB消失は継続するかを検証する。

観察の結果誘導円の位置では明確な補色残効が観察される。すなわち消失に時間遅れがある。また誘導円に続く二つの位置では補色残効も実画像の黒円環も消失し白背景が観察される。したがってMIBにより残効も消失し、更に誘導円が消失後もMIBは継続することが分かった。

4.11においてMIB開始の瞬間に背景や試験図形の輝度・色相を変更してもMIBは成立することを示した。更にMIB

図44 MIB 残効図形の消失可否 図43と同様の刺激図であるが、誘導図形が表示される位置は色円である。誘導図形が拡大している位置の色円は消失せず明確に観察される。誘導図形が消失した後、色円は白抜き黒円環になる。その時点までは既にMIBが成立していたはずである。試験図形が背景に交換されたことでMIBは中断されるであろうか？ 多くの場合残効が観察されMIBは中断している。

消失中に背景を変化させても成立することも示した。一般にMIB消失中に試験図形を変化させるとMIB消失は中断し、新たな試験図形が直ちに観察される。そこでMIB消失中に試験図形をその残効に交換したらMIBは継続するかどうかに関して新たな実験を行った。

刺激布置を図44に示す。図43と同様であるが、誘導図形の位置には観察が続いて順応している色円を表示する。誘導円が消失した瞬間に色円を白背景と黒円環に変更する。図43の知見によればその瞬間においてMIBは成立して継続中のはずである。

観察の結果、誘導円位置には色円が観察される。その後ろには残効が観察されることが多い。すなわちMIBは中断されているように推測される。しかし現象は不鮮明で白背景が観察される場合も時としてある。

4.15 残効MIB消失中断時間遅れ(disruption offset)

前節では残効のMIB開始時間遅れを検討した。そこで同時に誘導図形が消失した後も残効の消失は継続するという知見を得た。

本節では残効を対象としたMIBの消失中断の時間遅れ(disruption offset)を検証する⁽⁴³⁾。刺激布置を図45に示す。上下半面は2,000 msで入れ替わる。図に示す状態で下半面は黒背景上に8°の位置に6.5°のシアン円が静止画像で表示される。シアン円はピンク色負残効の試験図形を生成するための順応図形である。上半面は当初の700 msは白背景が表示される。その8°の位置には先立つ2,000 msの間に順応した効果による6.5°ピンク色負残効が観察される。700 ms後残効試験図形の境界すなわち6.5°の大きさから16.3°の大きさまで図に示す誘導図形が390 msの時間拡大運動する。ピンク円残効はMIBにより消失する。390 ms後誘導円は消失し、上半面は白背景のみとなり、そのまま910 ms経過する。この後半の時間においてピンク円のMIB消失が継続するか否か観察する。

図45 残効MIBの消失終了(offset)時間 図の上半と下半は交互に2,000 msで入れ替わる。図に示す状態では下半は黒背景にシアン円が静止表示される。上下が入れ替わると下半にはまず無地白背景が700 ms表示される。この間シアン円残効が残り白背景の上に明確なピンク円が見える。700 ms後に複数黒円環の誘導図形が現れ拡大運動をする。その中央白領域には残効としてピンク円が残っているはずである。しかしMIBが始まるとピンク円は消失し白背景が観察される。誘導円の拡大によるMIBは390 ms続く。この間ピンク残効は消失している。その後誘導円は消失し無地白背景となる。このまま910 ms経過する。このときピンク円残効はすぐに復活せず、無地白背景がしばらく観察される。次に上下が入れ替わり同様の表示が続く。残効のMIB消失終了(offset)の遅れがあることが分かった。

観察の結果、明らかに誘導図形が消失してもピンク円の消失が継続することが分かった。時には910 msの全時間消失が継続することもある。

4.16 残効による色彩対比のMIB消失

前節では残効を対象としたMIBを検証した。本節では試験図形の抽象度を更に上げそのMIB効果を検証する⁽⁴³⁾。具体的には試験図形に相当する領域を白色として残し、背景に残効で色彩を生成させる。すると試験図形の白色部分に周囲の残効から誘導された同時色彩対比により、補色が知覚される。この誘導された色彩についてMIBを検証する。

刺激布置を図46に示す。白円が試験図形である。一部に扇形の色彩が表示されている。誘導図形は図の縦中央の上下にある黒円環である。誘導図形が現れるとその位置の扇形は白色に変わる。すると、先行して順応していた色彩の補色残効が残る。その残効に誘導されて白円部分には同時色彩対比により、補色残効の補色、すなわち順応していた背景色が観察される。その色彩対比による色彩知覚についてMIBを検証する。図43と同様に誘導図形に続いて二つの位置の背景を白色に残し、MIBの継続を観察する。

実験の結果誘導図形中には色彩対比による色彩が観察され、MIBの開始遅れが確認できる。MIB消失については誘導図形に続く白領域で消失が見られる。しかし不鮮明である。

上記の刺激布置ではMIBは確認できるものの不鮮明であったことから、図45と同様の工夫により、消失のより明確な観測を試みた。刺激布置を図47に示す。結論として明確なMIB

図46 MIB 残効誘導色彩対比のMIB消失 円環状に並んだ白円図形が試験図形である。一部背景に色彩が付与されている。対角の位置にある2か所にMIBをかける。黒円環が誘導図形である。誘導図形が表示される位置及びそこから時計回りに2か所、試験図形は白背景の黒円環である。また背景も白となる。白円環試験図形及び白背景3個は誘導図形を追って位置を移動する。MIB誘導図形がある位置の背景は白であるが、直前まで描画されていた色彩の扇形残効が残る。そのとき試験図形は白であるが、周囲の残効色から誘導される同時色彩対比により補色の補色、つまり直前に表示されていた色が観察される。この色彩はMIBの開始 (onset) 遅れにより誘導円の中に明確に観察される。一つ時計回り方向に隣の位置では既に誘導円は消去しているが、MIBにより無地の背景が観察される。残効から誘導される色彩対比を対象としたMIBも実色と同様に消失開始 (onset)、終了 (offset) に時間遅れがあることが分かった。

消失とその継続が観察された。多くの場合誘導円が消失した後も910 msにわたって消失は継続する⁽⁴³⁾。

本刺激布置は消失と継続のみならず、MIB及びFIの機序解明の手掛かりとなり興味深いものである。すなわち本試験図形を生成しているのは試験図形ではなく背景である。“試験図形が消失”とは“背景の消失”であろうか？ 考察において知見を深めたい。

5. 考察

本章では、4. で得られた各種知見の中から、MIB、FIの機序解明に資すると思われるもの及び既存の理論と整合性が取れない知見について更に検討を深める。

擬似AMの不完全性の原因

4.10においてMIBによる交互の図形消失で擬似的な仮現運動 (AM) の成立を試みた。消失は頻繁に生じたが、仮現運動の強い印象は実現できなかった。原因として消失の開始と終了が交互の消失において正確に同期していないことが考えられる。4.13で明らかなように消失の開始、終了には時間遅れがある。また擬似AMでは誘導円が試験図形の擬似的な運動と逆の位相で表示されるため、AMの印象を弱めたことも原因と考えられる。

視覚経路階層におけるMIBによる擬似運動

通常の運動視及び仮現運動 (AM) は少なくともV1あるいは

図47 残効から誘導された色彩対比のMIBの消失中断時間遅れ (disruption offset) 基本的機序は図45と同様である。ただし背景を黒ではなくシアンとする。上下が入れ替わると、シアン領域にはピンクの残効が残る。統制された実験環境では色彩の恒常性の影響により、背景がピンクになったことに気付かない。一方白円領域には色彩残効はないが、周囲のピンク色残効から誘導されるシアン円が明瞭に観察される。この残効から誘導された色彩対比についてMIBを検証する。具体的には次のとおりである。図の上半と下半は交互に2,000 msで入れ替わる。図に示す状態では下半はシアン背景に白円が静止表示される。上下が入れ替わると下半にはまず無地白背景が700 ms表示される。この間シアン領域はピンク色残効が残り白円であった領域には周囲のピンク色から誘導される同時色彩対比によりシアン円が明瞭に見える。700 ms後に複数黒円環の誘導図形が現れ拡大運動をする。その中央白領域には色彩対比としてシアン円が残っているはずである。しかしMIBが始まるとシアン円は消失し白背景が観察される。誘導円の拡大によるMIBは390 ms続く。この間シアン円残効は消失している。その後誘導円は消失し無地白背景となる。このまま910 ms経過する。このとき色彩対比によるシアン円は復活せず、無地白背景が910 ms観察される。次に上下が入れ替わり同様の表示が続く。残効による色彩対比のMIB消失終了 (offset) の遅れは910 ms以上あることが分かった。

V2で知覚されている。MIBはより高次の階層で成立すると考える。その根拠はMIB中消失している図形要素の残効がMIB解消後有効であるからである⁽⁴¹⁾。もしMIBによる擬似運動が確立できるとするとそれは従来にない高次の運動知覚になると予想される。従来の高次運動には例えば主観的輪郭の変化による運動がある⁽⁴⁴⁾。“Pacman”の口が変化すると主観的四角形が運動して見える。また低周波正弦縞の運動が相関のないランダムドットによる高周波情報を仮想的に“Motion capture”することも知られている⁽⁴⁵⁾。MIBによる擬似運動知覚はどの階層に位置するか興味深い。

テクスチャを対象としたMIB

古典的な一様塗り潰し小円を対象としたMIBはFIの理論と整合性が良い。すなわち試験図形の領域境界情報が何らかの仕組みにより抑制され、周囲の情報が試験図形に充填すると考えるわけである。一般にFIの機構としてFI中の領域にある輝度境界によりFIの進行が停止されることも検証されている⁽⁴⁶⁾。本現象は残効においても見事に確認されている⁽⁴⁷⁾。

さて、大形の試験図形を対象としたMIB消失が可能になっ

たので試験図形内にテクスチャを含めることができた。その結果MIBは一樣な試験図形と同様に成立したが、このテクスチャの消去はFIの理論と整合性がない。例えば図4、図17などの試験図形のようにFIの進行を停止させる輝度境界が多数あるにもかかわらず試験図形のテクスチャは同時に全て消失する。

実はFIの基本的な検証⁽⁴⁶⁾と同様の刺激布置で、試験図形に一樣でないテクスチャを用いてFIの検証をした研究がある⁽⁴⁸⁾。FIの理論とは整合せず、テクスチャ境界でも一樣な試験図形と同様のFIの制御が得られている。これらの両知見^{(46), (48)}は筆者らのテクスチャを対象としたMIBと対応している。

一方MIBでは試験図形は必ず静止画像でなければならなかった。理由として例えばMIB消失途中で試験図形の輝度等が変更される、または固視点が動くとき消失は直ちに中断されることが確認されているためである。特に動的ランダムドット(DRD: Dynamic Random Dots)領域はMIBで最も消失しない例である。ところが⁽²⁹⁾で示されるように周辺視で小領域であればDRDは誘導図形なしに容易にFIする。また時としてFIの例に挙げられる Craik-O'Brien-Cornsweet 錯視においては固視を必要としない。

上記課題に対する二つの仮説を推測できる。一つは自然なBSにおけるFIに対し現在のFI理論は基本的な現象のみ対象としており、テクスチャ領域等高次情報を対象とできるよう拡張すべきとするものである。もう一つの仮説は逆にMIBをはじめ種々の人工視野欠損(AS)を視野欠損と同一視することが間違いである可能性があるとするものである。

“逆”充填(Filling-“OUT”)

4.16において残効から誘導された色彩対比による試験図形を対象としたMIBを検証した。そこでは消失と継続の知見のみならず、消失したのは何かという疑問がある。色彩対比の原因である背景の残効が消失したのであるか？

そもそも充填とは正常な視野中に存在する視野欠損領域に周囲の正常な視覚情報が充填されることであった。その古典的な仮説は“領域境界の存在を示す情報が抑制される”と充填が起こるというものである。問題の領域が視野欠損であればそこには情報はないわけであるから周囲から充填されるのは自然である。しかしTroxler効果のように両領域が正常であってもFIは成立する。内側に充填(Filling-In)することを正当化する根拠は何であろうか？ 初等的に、背景が大きく、消失する領域が小さいからであろうか？ すなわちゲシュタルト的“図と地”のような認知であろうか？ しかし領域境界上における神経回路レベルの情報処理に図と地に相当するような高次認知が働くとは考えにくい。理論的には両側対等であるように思われる。

4.16の現象に対する最も保守的な説明は背景となっている残効が、残効のない領域に充填されたというものである。逆に従来知見と整合性を取ることが困難な説明は背景となっている残効が誘導図形により消去された、すなわち試験図形が背景に“逆”充填(Filling-“OUT”)されたというものである。

両者を踏まえた控えめな説明はMIBにより領域の境界情報が消失した試験図形か背景かのいずれかが他方に充填されるかどうかは別途理論研究が必要である、というものである。

MIB生理モデル仮説

4.14においてMIBは成立に時間遅れがあること、また同節において誘導図形の運動開始の瞬間にはかなり自由に背景や試験図形の輝度・色相を交換できることを示した。これらの知見は誘導図形の運動開始直後は消失の仕組みが働かないことを示唆しているものと考えられる。

一方一般に視覚が意識に上るためには、V1の情報がMTに転送され、次にMTから逆にV1に帰還されることが必要であるという知見がある^{(49), (50)}。その帰還のためには10～50 msの時間遅れが必要となる。本知見をMIBに当てはめると静的に順応した背景と試験図形についてはMTからの帰還情報は貧弱であろう。一方不意に現れて運動する誘導図形のMTからの帰還は顕著な情報であろう。両者がV1に帰還する場合、顕著な運動情報に対して動作範囲の調節が起こると仮定すると、静止図形に関する情報は消失する可能性がある。また**4.14**のようにMIBの成立には時間遅れがあり、一方160 ms後には確実に消失が成立している。本知見は上記知見と矛盾なく整合する。しかし、上記仮説を認めても誘導図形が消失後もMIB消失が継続する事実は整合性が取れない。

6. 結論

一般的な視覚失認の知見とともに、MIBの発見とその後の従来研究について解説した。次に最近筆者らが試みた研究について解説した。得られた知見は次のとおりである。

- ① 従来のMIBでは消失は確率的あるいは蓋然的であったが、刺激を工夫し消失瞬間を特定できた。
- ② 従来消失する図形は小点であったが、BSを超える大面積図形が消失する誘導図形を見いだした。
- ③ MIBは少なくとも両眼の情報が融合した後の現象であることを、視野闘争を用いて検証した。
- ④ 誘導図形を工夫し、消失継続時間を延長することができた。
- ⑤ MIBには異方性があることを発見した。水平方向よりも垂直方向に配置された試験図形の方が容易に消失する。
- ⑥ MIBには輝度非対称性があることを発見した。暗い背景上の明るい試験図形が消失しやすい。
- ⑦ 等偏心度上にある太い円環形図形の消失が実現できた。
- ⑧ 放射線方向の長線分図形及び扇形図形の消失が実現できた。中心視近辺の図形も消失することが分かった。
- ⑨ 擬似的な仮現運動(AM: Apparent Motion)を実現させ、ASとBSにおけるFIとの比較をした。両者は類似の現象であるがメカニズムには本質的に異なる部分がある。
- ⑩ 背景・試験図形の順応可否について知見が得られた。消失には強い順応が必要であることが一般論であった。

が、少なくとも図形の境界位置が変わらなければ背景の輝度、色彩共にMIBの途中で変化しても消失に影響ないことが分かった。

- ⑪ MIBによる消失後の領域に残効がないことが分かった。MIB解消後の残効は正常であった。
- ⑫ 継時的に多数のMIBを配置することで誘導図形の立ち上がりには比べ消失の瞬間に遅れがあることが示された。MIB消失の瞬間に試験図形を白にすると通常残効が残るが、MIBでは残効図形も消失することが分かった。
- ⑬ MIBによる残効図形の消失は誘導図形が消失した後も長く消失したままになる場合があることが分かった。
- ⑭ 色彩を持つ背景中に白い試験図形を配置し、順応後背景を白に変えると白い試験図形には消えた背景の補色が残効による色彩対比として観察される。この残効も消失することが分かった。本消失は図形知覚の原因となる情報は消失する試験図形の外側であることの意味で重要である。

視覚刺激が意識に上り「見えた」と気付くためにはMT野からV1への帰還情報が必要であることが分かっている。本知見を基にMIBの機序の仮説を提案した。MIBは心理学・生理学また認知科学更に意識に関する哲学の観点からも興味深い研究である。

本稿で紹介した実験は全てWeb上のデモで体験することができる。URLを文献(51)^(注1)に示す。

(注1):本サイトはJava Appletで作成されているがその表示は通常ブロックされている。Webにブロック解除の手順を示している。またデモはFull screen表示されるが、その許可法もWeb上にある。JREはJava 7 Update 67, IE11, Windows 7, CPU Intel® Core™ i7 870@2.93GHzの環境で動作確認している。

文 献

- (1) Consciousness explained, D. C. Dennett, ed., Back Bay Books, Little, Brown and Company, 1991.
- (2) D. C. Dennett, Kinds of Minds, Basic Books, A Member of the Perseus Books Group, 1996.
- (3) Matter and Consciousness, P. M. Churchland, ed., A Bradford book, 1988.
- (4) Consciousness, W. G. Lycan, ed., A Bradford book, 1995.
- (5) Goedel, Escher, Bach, D. R. Hofstadter, ed., Vintage Books, 1989.
- (6) F. Jackson, "Epiphenomenal qualia," The philosophical Quarterly, vol.32, no.127, pp.127-136, 1982.
- (7) P. M. Churchland, "Knowing qualia: A reply to Jackson," in A Neurocomputational Perspective, MIT Press, 1989.
- (8) Neurophilosophy, P. S. Churchland, ed., A Bradford book, 1988.
- (9) D. C. Dennett, "Filling-in versus finding out: a ubiquitous confusion in cognitive science," in Cognition: Conceptual and Methodological Issues, H.L. Pick, Jr., P. van den Broek, and D. C. Knill, ed., Washington D.C.: American Psychological Association, 1992.
- (10) H. Komatsu, M. Kinoshita, et al. "Neural responses in the retinotopic representation of the blind spot in the macaque V1 to stimuli for perceptual filling-in," J. of Neuroscience, vol.20, no.24, pp. 9310-9319, 2000.
- (11) Y. Sasaki and T. Watanabe, "The primary visual cortex fills in color," PNAS, vol.101, no.52, pp.18251-18256, pp.18251-18256, 2004.
- (12) V. S. Ramachandran, "Blind spots," Sci. Am. vol.266, no.5, pp.86-91, 1992.
- (13) V. S. Ramachandran, "Filling in gaps in perception: Part I," in Current Directions in Psychological Science 1, pp.199-205, 1992.
- (14) S. Shimojo, Y. Kamitani, and S. Nishida, "Afterimage of perceptually filled-in surface," Science, vol.293, pp.1677, 2001.
- (15) S. Shimojo and K. Nakayama, "Amodal representation of occluded surfaces: role of invisible stimuli in apparent motion correspondence," Perception, vol.19, no.3, pp.285-295, 1990.
- (16) Y. S. Bonne, A. Cooperman, and D. Sagi, "Motion-induced blindness in normal observers," Nature, vol.411, pp.798-801, 2001.
- (17) E. W. Graf, W. J. Adams, and M. Lages, "Modulating motion-induced blindness with depth ordering and surface completion," Vis. Res., vol.42, pp.2731-2735, 2002.
- (18) T. S. A. Wallis and D. H. Arnold, "Motion-induced blindness is not tuned to retinal speed," Journal of Vision, vol.8, no.2, 11, pp.1-7, 2008.
- (19) T. S. A. Wallis and D. H. Arnold, "Motion-induced blindness and motion streak suppression," Current Biology, vol.19, pp.325-329, 2009.
- (20) O. L. Carter and J. D. Pettigrew, "A common oscillator for perceptual rivalries?" Perception, vol.32, pp.295-305, 2003.
- (21) A. P. Funk, and J. D. Pettigrew, "Does interhemispheric competition mediate motion-induced blindness? A transcranial magnetic stimulation study," Perception, vol.32, pp.1325-1338, 2003.
- (22) F. Caetta, A. Gorea, and Y. S. Bonne, "Sensory and decisional factors in motion-induced blindness," Journal of Vision, vol.7, no.7, 4, 2007.
- (23) L. Montaser-Kouhsari, F. Moradi, A. Zandvakili, and H. Esteky, "Orientation-selective adaptation during motion-induced blindness," Perception, vol.33, pp.249-254, 2004.
- (24) S. R. Mitroff and B. J. Scholl, "Forming and updating object representations without awareness: evidence from motion-induced blindness," Vis. Res., vol.45, pp.961-967, 2005.
- (25) T. Kawabe, Y. Yamada, and K. Miura, "How an abrupt onset cue can release motion-induced blindness," Consciousness and cognition, vol.16, pp.374-380, 2007.
- (26) T. Kawabe and K. Miura, "Subjective disappearance of a target by flickering flankers," Vis. Res., vol.47, pp.913-918, 2007.
- (27) Visual Agnosia, M. J. Farah, (ed.), MIT Press, 1999.
- (28) W. Tschacher, D. Schuler, and U. Junghans, "Reduced perception of the motion-induced blindness illusion in schizophrenia," Schizophrenia Research, vol.81, pp.261-267, 2006.
- (29) V. S. Ramachandran and R. L. Gregory, "Perceptual filling in of artificially induced scotomas in human vision," Nature, vol.350, no.6320, pp.699-702, 1991.
- (30) J. J. New and B. J. Scholl, "Perceptual scotomas: A functional account of motion-induced blindness," Psychological Science, vol.19, no.7, pp.653-659, 2008.
- (31) L. C. Hsu, S. L. Yeh, and P. Kramer, "Linking motion-induced blindness to perceptual filling-in," Vis. Res., vol.44, pp.2857-2866, 2004.
- (32) L. C. Hsu, S. L. Yeh, and P. Kramer, "A common mechanism for perceptual filling-in and motion-induced blindness," Vis. Res., vol.46, pp.1973-1981, 2006.
- (33) S. Naito, "Synchronous motion-induced blindness and disappearance of a ring," Ann. Meeting of Vision Science Society, May 2010.
- (34) M. Katsumura, R. Shohara, and S. Naito, "Transience induced blindness," Ann. Meeting of Vision Science Society, May 2011.
- (35) R. Shohara, M. Katsumura, and S. Naito, "Selective filling-in of large artificial scotoma," Ann. Meeting of Vision Science Society, May 2011.
- (36) R. Shohara, M. Katsumura, and S. Naito, "Continuous transience induced blindness - H-V anisotropy and luminance asymmetry of disappearance -," Ann. Meeting of Vision Science Society, May 2012.
- (37) M. Katsumura, R. Shohara, and S. Naito, "Continuous transience induced blindness - annulus, sectors, and near fovea elements disappearance -," Ann. Meeting of Vision Science Society, May 2012.
- (38) S. Naito, R. Shohara, and M. Katsumura, "(Invited) Artificial blindness and filling-in," 6th International Workshop on Image

- Media Quality and its Applications: IMQA2013, S2, Sept. 2013.
- (39) S. Naito, R. Shohara, and M. Katsumura, "(Invited) Artificial blindness and filling-in, -filling-in after apparent motion induced by MIB-," IEICE Trans. vol. E97-A, no.2, pp.491-500, Feb. 2014.
 - (40) M. Katsumura, R. Shohara, and S. Naito, "MIB and filling-in with transient change of background, target or both," European Conference on Visual Perception, Sept. 2012.
 - (41) C. Hofstoetter, and C. Koch, and D. C. Kiper, "Motion-induced blindness does not affect the formation of negative afterimages," Consciousness and Cognition vol.13, pp.691-708, 2004.
 - (42) R. Shohara, M. Katsumura, and S. Naito, "Filling-in with afterimage after MIB without adaptation while MIB," European Conference on Visual Perception, Sept. 2012.
 - (43) S. Naito, R. Shohara, and M. Katsumura, "MIB transition for real and after-image," European Conference on Visual Perception, Aug. 2013.
 - (44) V. S. Ramachandran "Apparent motion of subjective surfaces," Perception, vol.14, no.2, pp.127-134, 1995.
 - (45) V. S. Ramachandran and P. Cavanagh, "Motion capture anisotropy," Vis. Res., vol. 27, no.1, pp. 97-106, 1987.
 - (46) M. Paradiso and K. Nakayama, "Brightness perception and filling-in," Vis. Res., vol. 31, no. 7/8 pp.1221-1236, 1991.
 - (47) R. Van Lier, M. Verger, and S. Anstis, "Filling-in afterimage colors between the lines," Current Biology, vol.19. no.8, R323-324, 2008, (Illusion of the year 2008 First Prize; <http://illusioncontest.neuralcorrelate.com/>, accessed Sept. 19. 2013.)
 - (48) I. Motoyoshi, "Texture filling-in and texture segregation revealed by transient masking," Vis. Res., vol.39, pp.1285-1291, 1999.
 - (49) A. Pascual-Leone and V. Walsh, "Fast backprojections from the motion to the primary visual area necessary for visual awareness," Science vol.292, no.510, 2001.
 - (50) F. Tong, "Primary visual cortex and visual awareness," Nature Reviews Neuroscience, vol.4, 219, 2003.
 - (51) S. Naito, On-line demonstrations of VSS2010-2012, ECV2012, and IMAO2013 <http://www.snaito.et.u-tokai.ac.jp/IMQA2013SNAITO/>, accessed Sept. 18 2014.

(SSS 研究会提案, 平成 26 年 10 月 18 日受付
平成 27 年 2 月 11 日最終受付)

内藤誠一郎 (正員：フェロー)

1972 早大・理工・電気通信卒, 1974 同大学院電気工学専攻了, 1974 - 2000NTT 基礎研究所, 1983 - 1984 米国メリーランド大客員研究員, 2000 から東海大情報理工・情報科学, 教授, 2014 同大学・特任教授, 博士 (工学) 1984 早大, 文字認識, 画像認識, 視覚心理の研究に従事, 錯視, 視覚失認等に興味。

正原 涼

2010 東海大・情報理工・情報科学卒, 2012 同大学院工学研究科情報理工専攻修士了, 2012 から凸版印刷株式会社勤務。

勝村真人

2010 東海大・情報理工・情報科学卒, 2012 同大学院工学研究科情報理工専攻修士了, 2012 からブドウ園 IT ビジネス従事。