

質感マネジメントへの挑戦 —ディスプレイの画素構造が解像感へ与える影響—

田中 緑

千葉大学大学院国際学術研究院

The Challenge to Shitsukan Management System:
An effect of sub-pixel arrangement on subjective spatial resolution.

TANAKA Midori

要旨

ディスプレイの多くはRGBサブピクセルからなる画素の集合によって構成され、その解像度は慣用的に総画素数で定義されてきた。しかしながら、近年、RGBWやRGBYなどの複雑なサブピクセル構造を持つディスプレイが登場し、これまでの画素数で表される解像度と、知覚的な空間解像度（以下、解像感）が異なることが指摘されており、解像感の測定方法が新たに求められている。本研究では、RGBおよびRGBWのサブピクセル構造から構成されるディスプレイを対象として、それらの違いが解像感に与える影響を実験的に考察する。実験では、ストライプ刺激を用いて、ストライプ方向の違いとサブピクセル構造の違いによる解像感の差異を調べた。その結果、RGBサブピクセル構造では、垂直方向の解像感が水平方向よりも高い結果が示された。さらに、垂直方向の刺激に対して、RGBサブピクセル構造の解像感は、RGBWよりも有意に高いことが示された。これらの結果は、ITU-Rが最適な視聴距離として勧告している30cpdの画素密度に相当する視距離でも生じており、サブピクセル構造の違いが解像感に影響を与える可能性を示唆する結果となった。

キーワード

解像感、解像度、ピクセル構造、質感

1. 序論

光沢感、透明感、粗さ感などの質感を適切に再現するための画像技術の確立が、多種多様なカラー画像を扱う産業界において望まれている。なぜなら、現行のイメージング技術をもってしても、実物とそれらの再現画像から得られる質感が等価ではないという大きな課題に直面しているからである。実物や画像を対象とした質感管理技術実現に向けて「質感マネジメントへの挑戦」と題して、これまでに様々な取り組みを紹介してきた^[1-3]。今回は、ディスプレイにおいてデジタル画像を生成するための画素と、それによって生成される画像を評価する人間の知覚に着目した研究を紹介する。

一般に、ディスプレイの画素は赤、緑、青のサブピクセル（以下、RGBサブピクセル）によって構成され、ディスプレイの解像度は画素数で定義されてきた。しかしながら近年、RGBサブピクセル構造に白色や黄色のサブピクセルを加えたRGBWやRGBYなどの多原色サブピクセルが登場し、さらにはペンタイル方式などの非等面積サブピクセルといった複雑なサブピクセル構造を持つディスプレイが開発されている。これにより、同じ画素数でも人間が知覚する解像感は異なることが指摘されており、これまでの画素数で表されてきた解像度とは異なる「解像感」の測定法が求められている^[4-6]。本稿では、RGBおよびRGBWのサブピクセル構造から構成されるディスプレイを対象として、それら構造の違いが解像感に与える影響を実験的に考察することを目的としている。

2. 主観評価実験

本実験では、仮想画素構造を用いて、RGBとRGBWのそれぞれのサブピクセル構造で表現される白線と黒線のタテ縞とヨコ縞を、実験刺激として計4種類作成した（図1）。この縞の知覚的な鮮明度を比較することによって、サブピクセル構造による解像感の違いを評価した。図2に示すように、RGBとRGBWの構造は、現行のディスプレイの複数画素を用いて、それぞれのピクセル幅が同じになるように仮想的に再現し、1仮想画素は実際のディスプレイの12×12画素で構成した。すなわち、RGB構造の仮想サブピクセル幅は4であり、RGBW構造の仮想サブピクセル幅は3であった。実験では、これら4種類の縞を様々な組み合わせで較正済のディスプレイ（Eizo ColorEdge CG248-4K）の左右に提示し、被験者に評価してもらった。本実験では次の2種類の実験を実施した。

実験A：異なる縞方向での比較評価

同じサブピクセル構造からなるタテ縞とヨコ縞を総当たりで左右一対に提示し（各サブピクセルにつきタテ縞-タテ縞、タテ縞-ヨコ縞、ヨコ縞-タテ縞、ヨコ縞-ヨコ縞の4種類）、それらの鮮明度を評価することによって、方向性の違いによる知覚的解像度の違いを評価した。

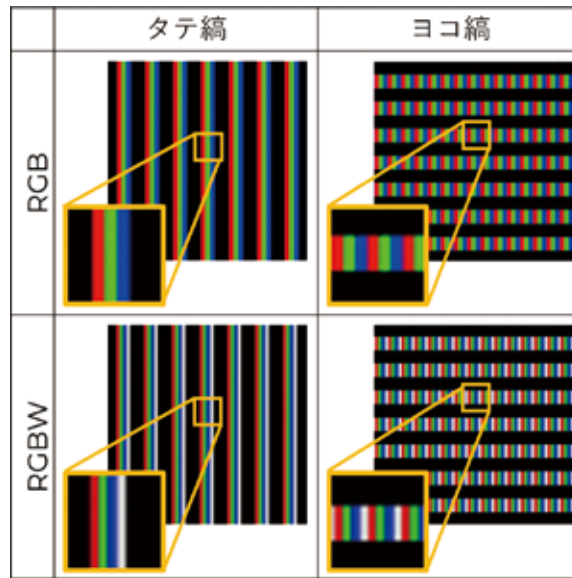


図 1. 実験刺激

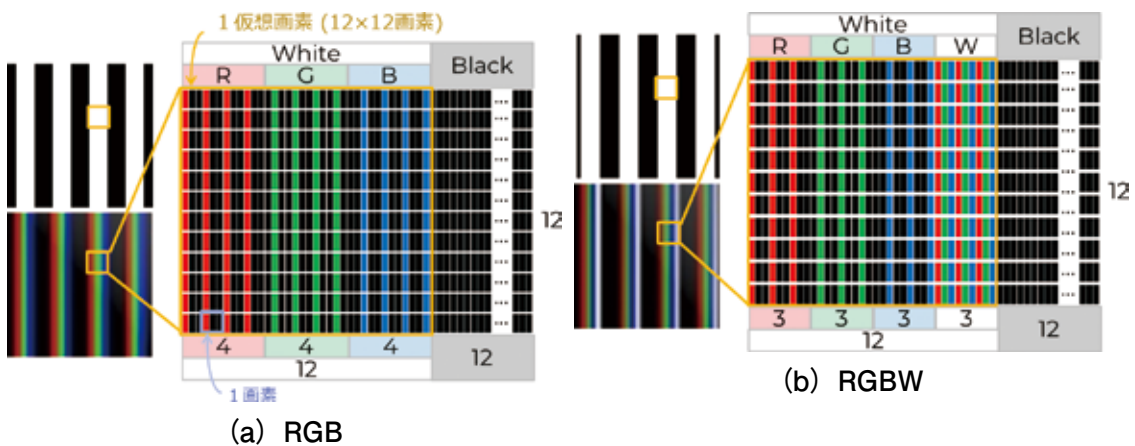


図 2. 仮想画素構造

実験 B：異なるサブピクセル構造での比較評価

同じ方向の縞を RGB と RGBW のサブピクセル構造を用いて総当たりで左右に提示し（タテ縞とヨコ縞それぞれ RGB-RGBW、RGBW-RGB、RGB-RGB、RGBW-RGBW の 4 種類）、それらの鮮明度を評価することにより、サブピクセル構造の違いによる知覚的解像度の違いを評価した。

正常視力を持つ 3 名の被験者が実験に参加し、左右に提示された縞の鮮明度を二者強制選択で回答してもらった。国際電気通信連合無線通信部門 ITU-R^[4] で標準視聴環境と勧告されている 30cpd (cycle per degree) を基準として、20cpd (377cm)、25cpd (471cm)、30cpd (565cm) の 3ヶ所で評価を行った (図 3)。また、RGB と RGBW の縞の輝度は等しく設定された。縞の背景は、白線と黒線の輝度の平均に保たれていた。縞は半径 150 仮想画素の円形であり、実寸で 24.7cm であった。

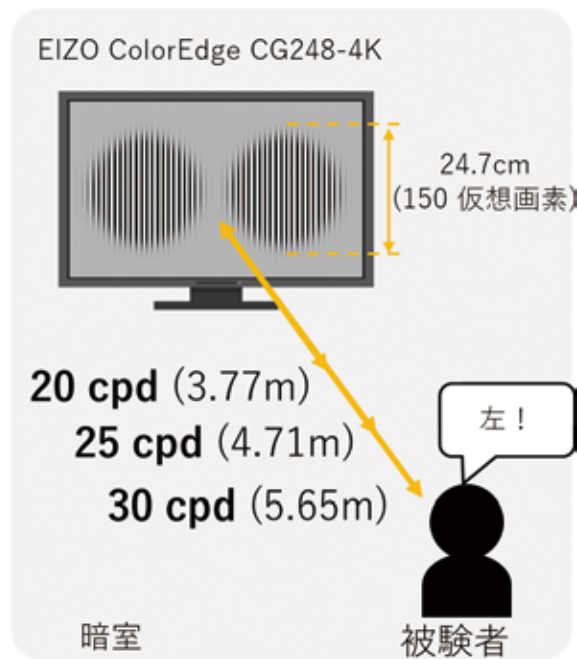


図3. 実験環境

3. 実験結果

実験Aに関して、RGBサブピクセルとRGBWサブピクセルともに、縞の方向によって鮮明度の知覚に有意差は見られなかった。図4および図5に、実験A、Bにおける被験者3名の回答率をそれぞれ示す。図5(a)に示されるように、タテ方向の知覚的解像度に関して、RGBの方がRGBWよりも有意に高い結果が示された。特に、20cpdや25cpdのより視距離が短い条件において、高い有意差が確認された（弁別閾である回答率75%を有意性判断に用いる）。これは、標準視聴環境である30cpdにおいても、知覚的解像度を考える際には、サブピクセル構造の違いを考慮する必要性を示す新たな結果である。一方で、サブピクセル構造の違いによるヨコ方向の知覚的解像度の有意差は見られなかった。各実験の結果を踏まえると、4つの刺激の鮮明度は、次の順番で高いことが示された。

RGBタテ>RGBヨコ≒RGBWヨコ≒RGBWタテ。

ITU-R Recommendation BT.2035は、表示された画質評価における視距離が30cpd相当となる条件を推奨している。実験A、Bの結果によって、RGBタテの刺激に対する解像感が有意に高いことが明らかとなったことから、画質評価においてサブピクセル構造を考慮すべきである指針が示された。これまで、ディスプレイの解像性能を定量化するために、物理的もしくは心理的なアプローチによって様々なメトリクスが提案されてきた。本実験では、実際のディスプレイの12画素を仮想1画素とみなし、20~30cpd相当の距離から視感評価によって、2種のサブピクセル構造（RGB、RGBW）の評価を実施した。従来まで産業界で広く用いられてきたIDMSでは、サブピクセル構造の影響による解像性能の差

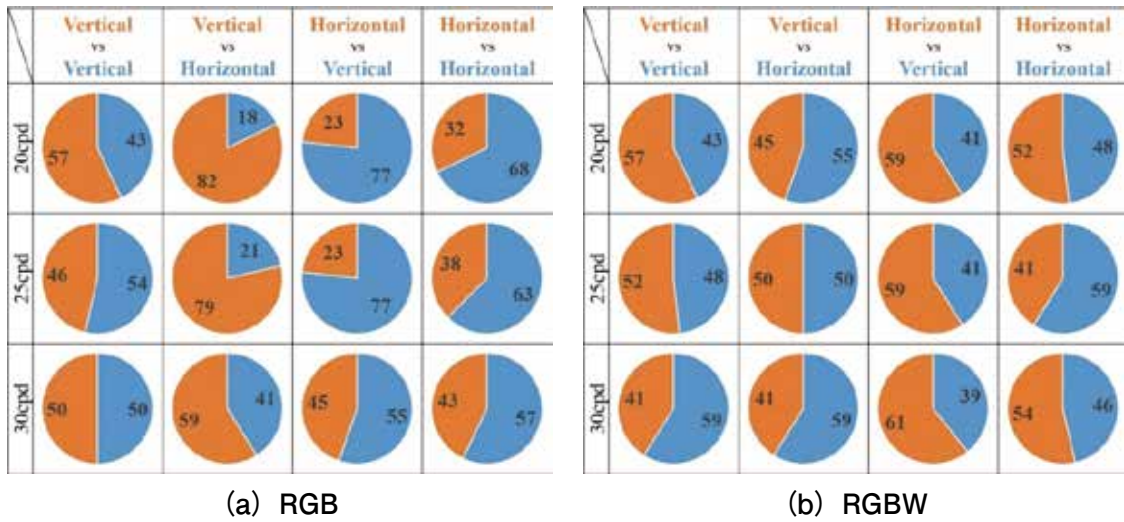


図4. 実験Aでの回答率

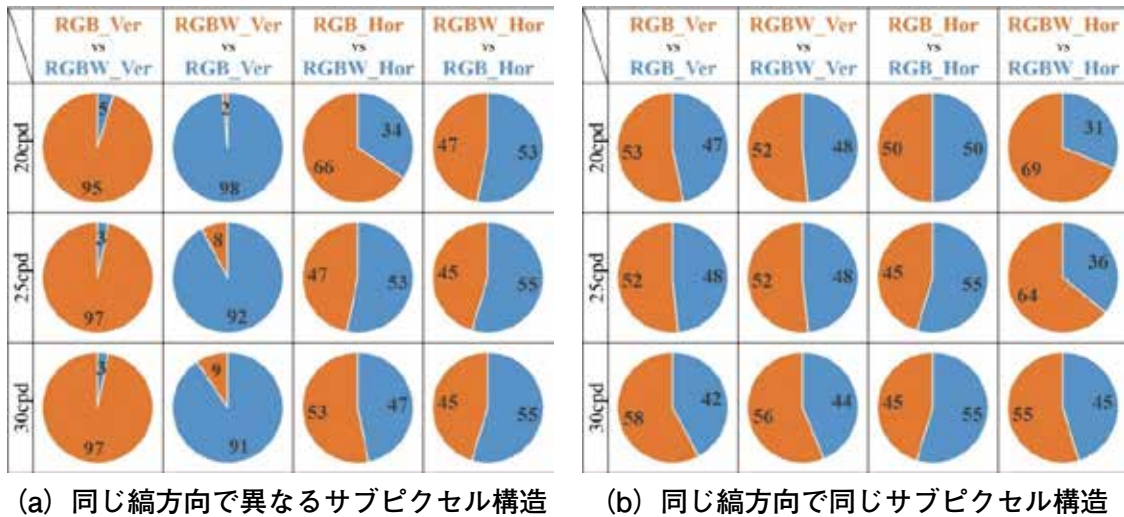


図5. 実験Bでの回答率

を明らかにできなかったが、本研究の評価アプローチによって、解像感がサブピクセル構造の違いの影響を受けることを明らかにした。

4. 結論

本稿では、RGBとRGBWサブピクセル構造を有する画素配列を対象として心理物理評価実験を実施し、解像感への影響を調査した。実験の結果、RGBサブピクセル構造では、垂直方向の解像感が水平方向よりも高かったが、RGBWサブピクセル構造では、方向に対する優位性は認められなかった。更に、垂直方向に関して、RGBサブピクセル構造の解像感がRGBWサブピクセル構造よりも高い結果が得られた。また、RGBサブピクセル

構造の垂直解像感が、実験刺激の中で最も高い解像感が得られた。これらの結果は、解像感がサブピクセル構造の違いによって影響されることを示している。今後の課題として、画素構造がもたらす視知覚への影響のより詳細な調査や原因の視覚科学的解明に加え、様々なサブピクセル構造を対象とした解像感の公平な評価方法の確立を目指す。

本稿は、文献^[7,8]を抜粋して執筆した。詳細は文献を参照されたい。

謝辞

本研究は、JSPS科研費（新学術領域研究「多元質感知」JP15H05926の助成を受けたものである。本研究の遂行にあたって、終始ご助力を戴いた千葉大学大学院工学研究院・堀内隆彦教授に深く感謝の意を表する。

参考文献

- [1]田中緑, “質感マネジメントへの挑戦：瞳孔特性を考慮した画質改善,” 千葉大学国際教養学研究 Vol. 2, pp. 55-68 (2018).
- [2]田中緑, “質感マネジメントへの挑戦：星の忠実な見え再現,” 千葉大学国際教養学研究 Vol. 3, pp. 81-94 (2019).
- [3]田中緑, “質感マネジメントへの挑戦：質感調和を判断するための物理指標,” 千葉大学国際教養学研究 Vol. 2, pp. 171-186 (2020).
- [4]IDMS (Information Display Metrology Standard) V1. 03, issued by the SID International Committee for Display Metrology, ICDM (2012).
- [5]Y. S. Baek, Y. Kwak and S. Park, “Visual Resolution Measurement of Display using the Modified Landolt C,” IDW Symposium Digest of Technical Papers, pp. 976-978 (2018).
- [6]M. E. Becker, “Measurement of Visual Resolution of Display Screens,” SID Symposium Digest of Technical Papers Vol. 48, Issue 1, pp. 915-918 (2017).
- [7]D. Nakayama, M. Tanaka and T. Horiuchi, “A Fundamental Evaluation of Visual Resolution of Displays Considering Different Sub-Pixel Structures,” Proc. International Display Workshops, pp. 1107-1109 (2019).
- [8]M. Tanaka, D. Nakayama, T. Horiuchi and K. Masaoka, “An Experimental Study of the Effect of Subpixel Arrangements on Subjective Spatial Resolution,” Proc. SID Display Week 2020, SID Symposium Digest of Technical Papers Vol. 51, Issue 1, pp. 1206-1209 (2020).