

二次元コードのカラー化に対する読み取り特性の検討

サムレットウィット ダムリ[†] 若原 俊彦[‡]

Damri SAMRETWIT[†] Toshihiko WAKAHARA[‡]

福岡工業大学大学院 情報通信工学専攻

Graduate School of Information and Communication Engineering, Fukuoka Institute of Technology

E-mail: [†] mgm11007@bene.fit.ac.jp, [‡] wakahara@fit.ac.jp

1. はじめに

現在、インターネットや携帯電話の普及に伴い QR コード[1]が世界中に広まっており、各種用途に QR コードが使われている。通常の QR コードは白黒 2 値のドット表示であるためデザイン性が良くないので、ドットをカラー化して見栄えを良くする方法が用いられる。しかし、ドットの色を変更するとイメージ損傷になり読み取り特性に影響を及ぼす。

本論文では、通常の QR コードを白黒 2 値からカラー化し、現状の QR デコーダをそのまま用いた場合にどの程度認識できるのかその読み取り特性を評価する。

2. 研究の目的

QR コードは二次元コード[2]の一種であり、一次元バーコードより容量を増大させ高速に読み取らせることを目的にデンソーウェーブ（開発当時は株式会社デンソーの一部門）が 1994 年に開発したものである。QR コードは、縦、横二次元方向に白と黒の明暗パターン情報を持つことで、一方向だけに情報を持っているバーコードに対し、記録できる情報量を飛躍的に増加させたコードである。

本論文では、QR コードのデザイン性や見栄えを良くするため、QR コードのデコーダに全く手を加えない範囲で色の色相、明度、彩度の値を変更した場合に、どこまで正しく明暗を読み取ることが可能か読み取り実験を行ってその読み取り特性を明らかにすることを目的とする。

以下、3 章では研究の概要について述べ、4 章では QR デコーダのカラー化の読み取り特性について示す。5 章では実験結果と考察を、6 章でまとめを述べる。

3. 二次元コードのカラー化

QR コードの白黒値を変化し、その色をカラー化などにより変化させると、二次元コードのイメージ損傷になる。この損傷に対して読み取り特性を改善するため、誤り訂正符号である RS コードに影響されない方

法を検討した[3]。文献[4]によると、“二次元コードの符号化と復号では要となる処理に差異がある”である。また、同文献に“復号器は即応符号を構成する小正方形を「暗い色の四角」と「明るい色の四角」の二つに大別して認識する。黒い四角、群青色の四角、深緑色の四角などはいずれも「暗い色の四角」として認識される。同様に、白い四角、淡いピンク色の四角、黄色の四角などはいずれも「明るい色の四角」として認識される。”とも述べられている。

色の見え方は照明条件や表示条件によって変化するが、色の違いとその明るさや鮮やかさにより明暗を区別している点で共通する。これは、色相、彩度、明度に対応しており、色の三属性と呼ばれている[5]。

白や灰色、黒のグレースケールは、明度で区別され、色相を含まず彩度が 0 である。これらの色は無彩色である。グレースケール以外の色は三属性すべてを持つ有彩色である[6]。しかしながら実際には、白や黒、グレーであっても通常は幾らかの彩度を有する[7]ので、いわゆる白や黒、グレーを、色の三属性を一つしか持たない色とするのは不適切である。

- (1) 色相は赤、黄、緑、青といった色の様相の相違である。特定の波長が際立っていることによる変化であり、際立った波長の範囲によって、定性的に記述できる。ただし、常に同じ波長が同じ色に見える訳ではない。この総体を順序立てて円環にして並べたものが色相環である。色相の変化を示す例を 3 つ挙げる（5.3 節の実験 1 参照）。
- (2) 彩度は色の鮮やかさを意味する。物体の分光反射率が平坦になる程、彩度は低くなる。また、色相によって彩度が高いときの明度は異なる。彩度の変化を示す例を 3 つ挙げる（5.3 節の実験 3 参照）。
- (3) 明度は色の明るさを意味する。明度の高低は、物体の反射率との相関性が高い。光の明暗に関して明るさ (brightness, luminosity) があるが、同様の知覚内容を指していると言える。5.3 節の実験 2 に読み取り実験結果を示す。

4. QR デコーダのカラー情報の認識

前述の実験[3]によれば、既存の QR リーダーの復号のままだでもカラーデザイン二次元コードを正しく読み取る可能性がある。しかし、前回の実験では人間の目で見て明るい色を“明”とし、暗い色を“暗”として選択したものであり、まだその特性が十分に明らかでないので、今回は定量的に色を指定して読み取り実験を行うこととする。

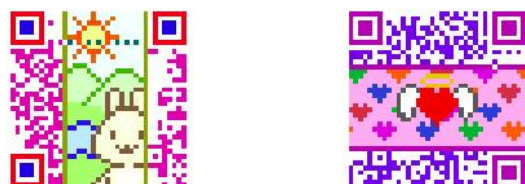


図 1 カラーデザイン二次元コードの例

図 1 は、カラー化デザイン QR コードの例である。この二次元コードでは、デザイン二次元コードの暗い色と明るい色のルールに従って、人間の目で見てどのような色が暗で、どのような色が明かを選択して、カラー化した二次元コードである。しかし、人間の目で見た認識では定量的な評価が出来ない。

次章以降で、色の 3 属性で規定し、色々なカラー化に対応した読み取り特性を評価する事にする。

5. 実験結果と考察

5.1 二次元コードの読み取り実験の概要

QR コードをカラー化した二次元コードの読み取り実験を行い、その読み取り特性を評価することとする。実験条件を表 1 に示す。

表 1 二次元コード読み取り実験の条件

項目		諸元
QR コ ー ド	符号化データ	英字 15 文字
	型番(バージョン)	5
	誤り訂正レベル	H,Q,M,L の 4 レベル
QR コード作成ソフト		QR Editor
表示装置		MacBook Air(11 インチ)
環境条件		通常照明(蛍光灯)
環境モニタリング条件		80%輝度
QR 読み取り装置		iPhone 4
編集プログラム		Gimp 2.6.7[8]
読み取りプログラム		i-nigma[9], QRReader[10]

5.2 カラー化二次元コードの読み取り実験

今回の実験では QR デコーダの復号処理を一切変更する事なく、デコーダの暗い色と明るい色の認識に従って通常の携帯電話に搭載している QR コードデコーダをそのまま使用し、色の色相、明度、彩度の値を変

更して読み取り率を評価する。

この実験では、フリーのイメージ編集ソフトである Gimp プログラム[8]で QR コードの各ドットの色を変更する。この実験では色相、明度、彩度の 3 属性の値を変更し、読み取るプログラムで色が変わった QR コードを読み取る実験である。

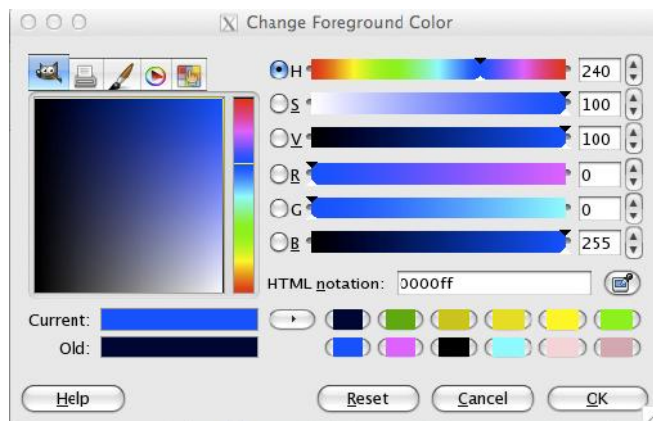


図 2 Gimp のカラー編集インターフェース

図 2 に示すように、色の 3 属性の値として色相は H(Hue)の 0 から 255 までの値を、彩度は S(Saturation)の 0 から 100 までの値を、明度は V(Value)の 0 から 100 までの値を指定する。これらの値を変更し、各ドットの色を変更して、明・暗の識別結果を評価する。

5.3 実験結果と考察

以下に示す 3 つの実験により、カラー化に対する読み取り特性を求める。

(1) 実験 1 (色相の変化による読み取り実験) :

同色では暗ドットと明ドットに代わり入れても読み取れるようになる。



図 3 ドットの色相を変化させた QR コード

それらの色の色相の値を変更させると色の RGB の値が変わって、ドットの色が変わり赤、緑、青の色になる。図 3 に示すように、全色では明度と彩度の値はそのまま 100%に放って置いたら、それらの色は暗でも明でも認識できるようになる。

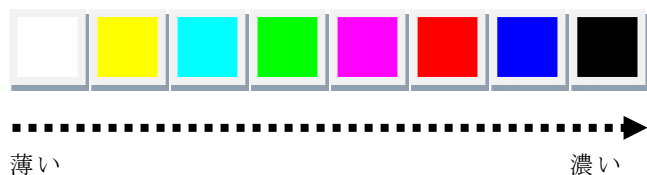


図4 カラー化の色相濃度の変化の例

次に、明度と彩度の 100% の値でも色相の値を変更させると、色も変化し色の濃さも変わる。図 4 に、色相の値を変更し黄色から青まで濃度の順に並べたものを示す。この順番では、黄色とシアンが一番明るい色であって暗い色としては使えない、また、緑は黄色より暗く、ピンクと赤では青色より明るく、青が一番暗い色に識別される。RGB から見ると RGB の色の 2 つを混合したら、色相の値が変化し色の濃さも明るくなる。すなわち、RGB の値の多対多関係は色相である。さらに、RGB3 つを全て混合したら、結果は白になる。

色の濃さの順番が明確になることにより、ドットの白黒の色に代わりカラー化する事が可能になる。図 5 に示すように、黒ドットに代わり濃さが一番高い青ドットを入れ、白ドットに代わり濃さが青より薄いピンクやシアンドットを入れると読み取り可能になるが、明暗ドットの場合に比べると色の濃さの差が小さく、なかなか読み取り辛い。反面、図 6 を示すように、又明ドットに代わりピンクドット入れ替え、暗ドットに代わり濃さが一番薄い黄色ドットやピンクドットと濃さがあまり変わらない赤ドットに入れ替えると読み取れなくなる。

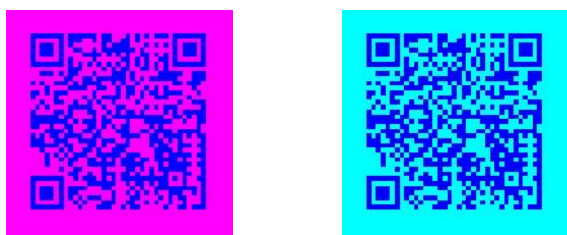


図5 色相を変化させ読み取り可能な例

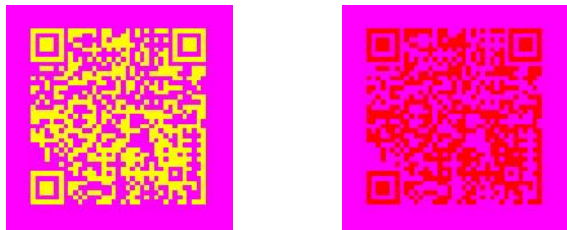


図6 色相変化で読み取り不可能な例

(2) 実験 2 (明度の変化による読み取り実験) :

実験 2 は、明度の値を変更させた読み取り実験である。それぞれの色の値を 0% まで低くすると色は黒くなる。すなわち、ドットの色のも明度の値を低くするに従ってそのドットの色は黒になる。この実験では、それぞれの色の明度の値をどれくらい低くしたら、色が

暗く認識されて読み取りが可能か評価する。図 7 に示すように、青や緑の明度の値を変更して濃さの差が異なると、濃い青や緑が暗に認識され薄い青や緑が明に認識されて読み取れる QR コードである。

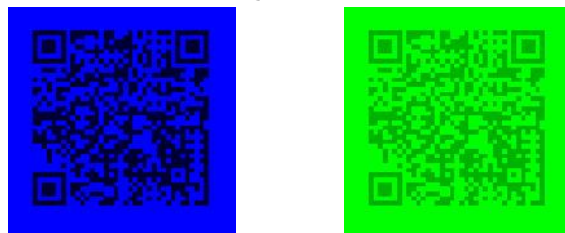


図7 明度の変化による読み取り可能な二次元コード

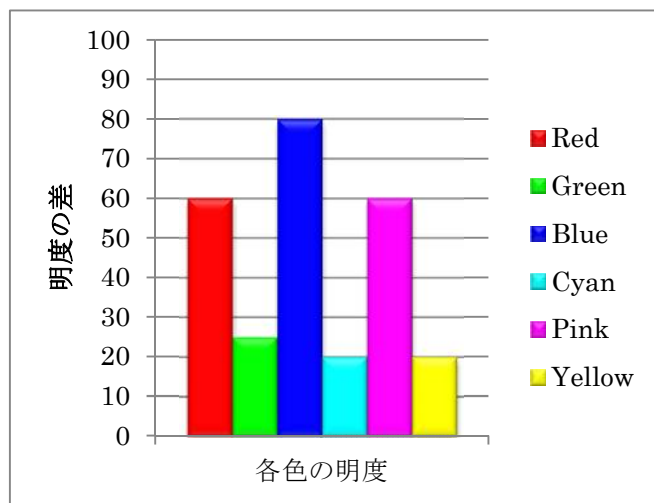


図8 明度の変化に対する各色の読み取り特性

図 8 に示すように、明暗の代わりに各色の薄い色と暗い色を入れて、各色の明度を変化させ薄い色を“明”に認識され暗い色を“暗”に認識され正しく読み取った明度差の限界のグラフである。赤の場合は、色の明度の差が 60% 以上であると正しく“明”と“暗”に認識される。緑の場合は 25% 以上であり、青では 80% 以上、シアンでは 20% 以上、ピンクでは 60% 以上、黄色では 20% 以上であれば正しく読み取れる事が分かった。

この実験の結果、どの色でも明度の値を落としてその色の濃さを変化させると暗くなり、色の明度の値の差が十分な値になったら正しく読み取れる事が明らかになった。

(3) 実験 3 (彩度の変化による読み取り実験) :

実験 3 では、彩度の値を変更する実験である。明度の場合と反対にそれぞれの色の値は 0% になると色が明るくなり、彩度の値を低くするとドットの色が明るくなる。この実験では、それぞれの色の彩度の値をどこまで低くしたら、色が明るく認識されるか評価する。図 9 に示すように、ドットは青と赤の彩度の 100% の値で青と赤の背景部分の“明”の部分の彩度の値を低くし、読み取り可能な限界の QR コードである。

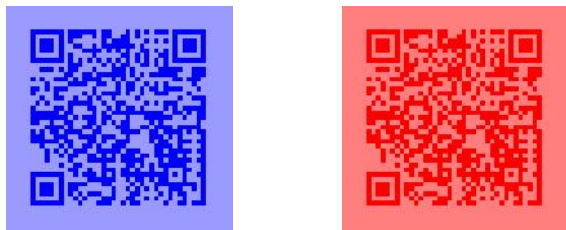


図 9 彩度の変化によるカラー化の例

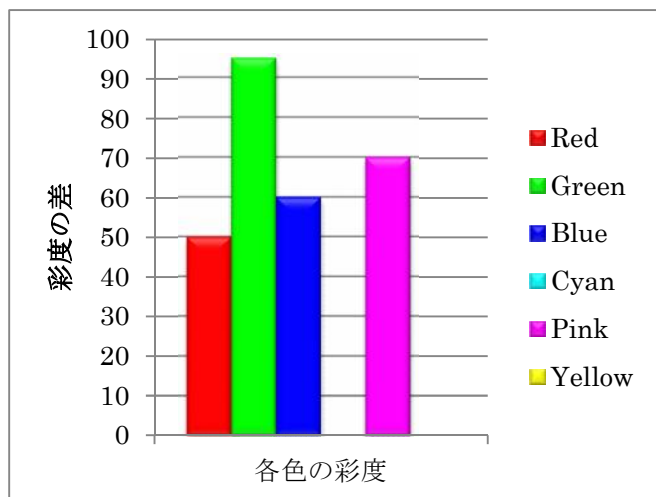


図 10 彩度の変化に対する読み取り特性

図 10 に示すように、QR コードの明暗の代わりに各色の薄い色と暗い色に入れ替えて、各色の彩度の差を変化させ、薄い色が“明”に認識され暗い色が“暗”に認識されて正しく読み取られた限界のグラフである。赤の場合には色の彩度の差が 50% 以上にしたら薄い色と暗い色に認識される。緑の場合には 95% 以上、青の場合には 60% 以上、ピンクの場合には 70% 以上であれば正しく読み取られることがわかった。しかし、シアンと黄色は彩度の値を変更して 100% の差に設定しても“明”と“暗”の認識できない事が分かった。

この実験の結果、どの色でも色の濃さを明るくする際に、“明”と“暗”で彩度の値を低くすると色の濃さが明るくなり、色の彩度の値の差が十分な値になったら、値が低い色のドットは“明”と認識される。

以上の 3 実験の結果は、通常の QR リーダーでどの色でも“明”と“暗”のいずれかに識別されるので、各ドットの周辺環境、濃さの状況次第でそのドットの色が“明”か“暗”に認識される事がある。

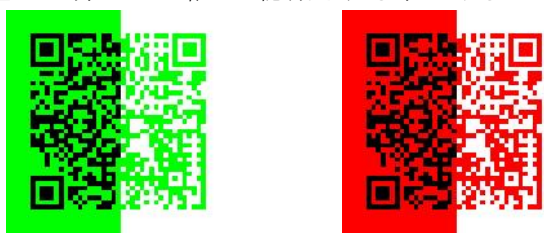


図 11 背景の半分のエリアの色を変化させる例
具体的には図 11 の左図に示すように、同じ緑の色が左

半分のエリアでは“明”に、右半分のエリアでは“暗”に識別され、正しく読み取ることが可能である。一方、同右図のように同じ赤であっても、“明”または“暗”に識別され正しく読み取ることが可能である。

6. まとめ

今回行った実験により、色の 3 属性の特性を考慮し QR コードのドットの色の色相と明度と彩度の値を変更する事により、QR コードの読み取り品質を低下させることなくカラー化が可能となった。この結果、QR コードのドットをカラー化し、明暗と認識される各属性として 3 種類の特性が明らかになり、それぞれ以下に示すような特徴を有する事が明らかとなった。

1. 色相の値だけを変更すると、色合いが変わって中位の濃さになり濃さの差は小さい。各色の濃さの順番は、黄色とシアンから、緑、ピンク、赤、最後は青である。
2. ドットの色を明度を低くすると色は暗くなる。各色の濃さが違っており、ドットの濃さが暗く認識されると、色は明度の値が少し低くなり暗くなる。
3. ドットの色を彩度を低くするとドットの色が明るくなる。各色の濃さが違う事から、ドットの濃さが明るく認識されると、明度の値が高くなり明るくなる。
4. ドットの色を認識では各ドットの周辺の環境次第でそのドットの色が“明”か“暗”に認識される事がある。

文 献

- [1] ISO/IEC 18004:2000 Information Technology: Automatic Identification and Data Capture Techniques (Barcode Symbology) QR Code (MOD), June 2000.
- [2] 二次元コードシンボル QR コード 基本仕様(JIS X0510) 日本規格協会 2004 年.
- [3] D.Samretwit, 若原俊彦, “二次元コードのイメージ損傷に対する読み取り特性改善の研究”, 平成 24 年度ライフインテリジェンスとオフィス情報システム研究会 D-54 (2012 年 3 月)
- [4] 萩原 学, “デザイン二次元コード”, 電子情報通信学会誌 Vol.94, No.4, PP.341-343 2011.
- [5] 『色彩学概説』 千々岩 英彰 東京大学出版会
- [6] 尾登誠一 「3 色の世界を知る」『色彩楽のすすめ』 岩波書店〈岩波アクティブ新書〉、2004 年、34 頁。ISBN 4-00-700101-4
- [7] 大日精化工業株式会社 色彩用語解説, http://www.daicolor.co.jp/color/color_01.html.
- [8] Gimp, <http://www.gimp.org/>.
- [9] i-nigma, <http://www.i-nigma.com/i-nigmahp.html>.
- [10] QRReader, <http://itunes.apple.com/us/app/qr-reader-for-iphone/id368494609?mt=8/>.