

RGB色空間における色相を保存した  
カラー画像の強調に関する研究

A Study on Color Image Enhancement  
While Preserving Hue in RGB Color Space

平成29年3月

上田 千晶

山口大学大学院理工学研究科

## 論文要旨

近年、カメラ付き端末の普及が進み、カラー画像を容易に取り扱うことが可能になっている。これに伴い、品質の良いカラー画像を生成する手法の必要性が高まっている。例えば、コントラスト強調、彩度強調、雑音除去など、カラー画像の質向上に関する様々な研究が行われている。

色は、「色相」「明度」「彩度」の三つの属性から構成されている。色相は赤み、青みなどの色みの性質を表し、彩度は色の鮮やかさを表す。明度は色の明るさを表しており、これらの組み合わせで色を表現する。これらの色の三属性は多くの人にとって理解しやすい色の物差しである。

一方、工学的な面では、加法混色の三原色である赤 (Red)、緑 (Green)、青 (Blue) を三属性とした RGB 色空間や、減法混色の三原色であるシアン、マゼンタ、イエローを三属性とした CMY 色空間が用いられることが多い。デジタル画像は RGB 色空間で表現されることが多いため、デジタル画像処理分野では RGB 色空間が広く使用されている。しかし、RGB 色空間の様相は、人にとって理解しにくいものになっている。例えば、RGB 色空間で表現されたオレンジ色をもっと鮮やかにしたいと思っても、RGB 色空間の 3 成分のうち、どの成分をどれだけ変化させたらよいかは感覚的に分からない人が多い。そこで、色相、明度、彩度の 3 成分から構成される色空間に画素値を変換して、そのいずれかを変更し、再び RGB 色空間に変換することがよく行われる。しかし、変換後の色が RGB 色空間の表現可能領域 (色域) を逸脱している場合があるという問題があった。

RGB 色空間のみで処理を完結することができれば、色空間変換によって生じる不都合を解消することができる。Naik らは、RGB 色空間における色相保存の条件式を提唱し、これを用いた画像強調手法を提案した。また、Naik らの画像強調手法では彩度が低下するため、村平ら、井上らによって彩度低下を起こさない手法が提案されている。しかし、従来手法は等色相平面と等明度平面の交線と、各手法が定める直線との交点により色座標を定めるため、強調後の画素値が一意に定まり、彩度の調整はできなかった。

本論文では、彩度調整パラメータを変化させることで、等明度かつ等色相の直線上の任意の点を出力する手法について述べる。提案手法では、ガンマ補正を利用した彩度調整式を用いることで、RGB 色空間の色域から逸脱することなく彩度を調整することが可能となる。提案手法は三つの従来手法を包含した彩度調整を可能にしている。また、本論文では、彩度調整だけでなく RGB 色空間内で明度をも調整する手法を提案する。彩度低下が発生しない明度領域を利用することで、彩度と明度を独立させて調整することが可能となる。実用例として、RGB 色空間での色相を保存した処理を食べ物画像の強調処理に応用し、RGB 色空間のみの処理でも人の感覚に合った処理が可能であることを示す。カメラ付き端末の普及や SNS の利用者の増加に伴い、個

人の SNS 上で食べ物画像を共有するために食べ物を撮影する機会が増えている。しかし、食べ物を撮影する環境の照明等の影響により、食べ物画像の明度や彩度が低下し、食べ物が美味しそうに見えない場合がある。本論文では食べ物の特徴を考慮し、RGB 色空間のみで画像の明度及び彩度を強調する手法について述べる。

第 1 章は序論である。

第 2 章ではカラー画像の変換手法について述べる。まず、色空間変換を伴う従来の変換手法と、RGB 色空間を用いた従来の変換手法について概説する。次に、RGB 色空間のみで色相を保存したまま明度を変更する場合の変換手法について詳述する。

第 3 章では RGB 色空間で色相を保存しながら適応的な彩度強調を行う提案手法について述べる。井上らの手法、Naik らの手法の出力結果を基準とし、彩度調整パラメータを用いて出力する色を求める。彩度調整にはガンマ補正を応用した式を定義し、提案手法の出力結果が色域内に収まることを保証する。実験により従来手法の結果を包含していることを示し、提案手法の有効性を検証する。

第 4 章では、第 3 章の手法を食べ物画像の彩度強調に応用し、さらに明度の強調も行う手法について述べる。具体的には、まず、色相と彩度を保持したまま明度を強調する。次に、食べ物領域を色相で判断し、食べ物領域のみを彩度強調する。彩度強調には第 3 章の手法を応用し、変換前の画素の彩度情報を元にパラメータを変化させることで、食べ物画像に適した彩度強調を行う。種々の実験により提案手法の有効性を検証する。

第 5 章は結論である。本研究の成果を総括する。

## 本論文で使用する記号の一覧表

---

$D_I(i, j)$	最大彩度点とその無彩色点との距離
$D_L(i, j)$	明度成分調整係数
$D_N(i, j)$	Naik らの手法の出力点とその無彩色点との距離
$D'_O(i, j)$	最大彩度点とその無彩色点との距離
$D_Y(i, j)$	明度変換後点とその無彩色点との距離
$D_\gamma(i, j)$	提案手法の彩度成分調整係数
$F(i, j)$	色相スイッチング
$G(i, j)$	Naik らの手法で定義される直線
$G'$	村平らの手法で定義される直線
$H(i, j)$	色相 (ラジアン)
$H'(i, j)$	色相 (弧度法)
$I_{max}(i, j)$	入力画素の 3 成分の最大値
$I_{min}(i, j)$	入力画素の 3 成分の最小値
$M(i, j)$	村平らの定義する直線と RGB 色空間の境界との交点
$O'(i, j)$	明度変換後出力点を通る等色相・等明度直線上の最大彩度点
$O_{min}(i, j)$	等色相・等彩度直線と RGB 色空間の低明度側の面との交点
$O_{max}(i, j)$	等色相・等彩度直線と RGB 色空間の高明度側の面との交点
$P_I(i, j)$	入力画素の明度ベクトル
$P_{\tilde{I}}(i, j)$	出力画素の明度ベクトル
$P'(i, j)$	明度変換後出力点の明度
$S(i, j)$	入力画素の彩度
$S_Y(i, j)$	出力画素の彩度
$X(i, j)$	入力画素
$X_r(i, j)$	入力画素の R 成分
$X_g(i, j)$	入力画素の G 成分
$X_b(i, j)$	入力画素の B 成分
$Y(i, j)$	処理後の画素値
$Y_N(i, j)$	Naik らの手法の出力点
$Y_M(i, j)$	村平らの手法の出力点
$Y_I(i, j)$	井上らの手法の出力点
$Y_{pro}(i, j)$	第 3 章における提案手法の出力点
$Y'(i, j)$	提案手法の明度変換後出力点
$\hat{Y}(i, j)$	食べ物画像の明度及び彩度強調の出力値
$e$	$e = (1, 1, 1)$ となる無彩色直線上のベクトル

---

---

$l(i, j)$	入力画素の明度
$\bar{l}(i, j)$	出力画素の明度
$\hat{l}(i, j)$	村平らの定義する直線と RGB 色空間の境界との交点の明度
$\alpha(i, j)$	スケーリングのための係数
$\beta(i, j)$	シフティングのための係数
$\gamma$	ガンマ補正パラメータ
$\gamma_L$	明度変換のためのガンマ補正パラメータ
$\gamma_S(i, j)$	彩度強調のためのガンマ補正パラメータ
$\varepsilon$	微小な定数

---

# 目次

本論文で使用する記号の一覧表	iii
<b>第1章 序論</b>	<b>1</b>
<b>第2章 RGB色空間における従来のカラー画像強調法</b>	<b>4</b>
2.1 緒言	4
2.2 カラー画像処理	4
2.3 RGB色空間	5
2.3.1 RGB色空間における等色相面	6
2.3.2 色相を保存した明度変換及び彩度の変更	7
2.4 Naikらの手法	9
2.5 村平らの手法	11
2.6 井上らの手法	13
2.7 実験結果	18
2.8 結言	18
<b>第3章 RGB色空間における彩度調整の可能なカラー画像強調法</b>	<b>20</b>
3.1 緒言	20
3.2 提案手法	20
3.3 実験	23
3.3.1 実験条件	23
3.3.2 主観評価	23
3.3.3 各成分の変化	24
3.3.4 パラメータ設定変更結果と従来手法との関連性	31
3.3.5 他の色空間との比較	34
3.4 結言	35
<b>第4章 RGB色空間における食べ物画像の明度及び彩度の強調法</b>	<b>39</b>
4.1 緒言	39
4.2 提案手法	39
4.2.1 色域を考慮した明度変換	40

4.2.2	色相による彩度強調スイッチング . . . . .	42
4.2.3	食べ物の彩度を考慮した彩度変換 . . . . .	43
4.3	実験 . . . . .	45
4.3.1	実験条件 . . . . .	45
4.3.2	定量評価 . . . . .	45
4.3.3	主観評価 . . . . .	46
4.4	結言 . . . . .	48
<b>第5章 結論</b>		<b>57</b>
<b>謝辞</b>		<b>58</b>
<b>参考文献</b>		<b>59</b>

## 第1章 序論

本論文は、RGB色空間におけるカラー画像の強調に関する研究である。まず、一般的な画像変換法とRGB色空間における従来の画像変換法について述べる。次に、RGB色空間における彩度調整手法について述べる。その後、上述の手法を応用した、食べ物画像の明度及び彩度強調手法について述べる。

近年、カメラ付き端末の普及が進み、カラー画像を容易に取り扱うことが可能になっている。これに伴い、品質の良いカラー画像の必要性が高まっている<sup>1</sup>。例えば、コントラスト強調、彩度強調、雑音除去など、カラー画像の質向上に関する様々な研究が行われている<sup>2-15</sup>。

色は、「色相」「明度」「彩度」の三つの属性から構成されている<sup>16-18</sup>。色相は赤み、青みなどの色みの性質を表し、彩度は色の鮮やかさを表す。明度は色の明るさを表しており、これらの組み合わせで色を表現する。これらの色の三属性は多くの人にとって理解しやすい色の物差しである。例えば、「鮮やかな赤」や「暗い青」で表現される色がある場合、それがどのような色かすぐに思い浮かべることができる。

一方、工学的な面では、加法混色の三原色である赤 (Red)、緑 (Green)、青 (Blue) を三属性としたRGB色空間や、減法混色の三原色であるシアン、マゼンタ、イエローを三属性としたCMY色空間が用いられることが多い<sup>19,20</sup>。例えば、発光することで色を表現するディスプレイ等ではRGB色空間が用いられ、紙面へ印刷するためのプリンター等ではCMY色空間が用いられる。デジタル画像は画素の集合であり、各画素にR,G,Bの3つの値が割り当てられている。RGB色空間では、各成分が[0 255]の256段階で表現されており、各成分の大きさで色を表現している。CMY色空間はRGB色空間と補色関係になっている。デジタル画像はRGB色空間で表現されることが多いため、デジタル画像処理分野ではRGB色空間が広く使用されている。

画像処理では、色相を変更すると不自然な印象の画像が生成されるため、明度や彩度に処理を行うことが一般的である。しかし、RGB色空間の様相は人にとって理解しにくく、色相を保存しながら明度や彩度を変換することが困難である。例えば、RGB色空間で表現されたオレンジ色をもっと鮮やかにしたいと思っても、RGB色空間の3成分のうち、どの成分をどれだけ変化させたらよいかは感覚的に分からない人が多い。そこで、HSV色空間やLAB色空間などの、色相、明度、彩度の3成分から構成される色空間に画素値を変換して画像処理を行うことが多い<sup>25-33</sup>。人の知覚に合った色空間を使えば、感覚的な処理が可能となる。しかし、画像処理後の結果画像に不都合が



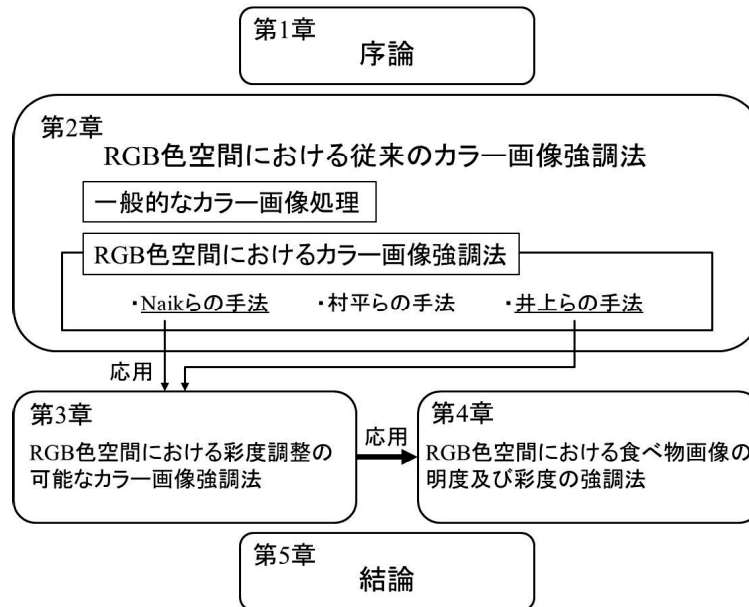


図 1.1: 本論文の構成.

生じる場合がある。主な問題として色域の問題がある。RGB色空間で表現されている色を任意の色空間に変換し、その色相、明度、彩度いずれかを変更し、再びRGB色空間に変換する。このとき、変換後の色がRGB色空間の表現可能領域（色域）を越えた値になる場合がある。RGB色空間における色域は $[0, 255]$ の範囲であり、これを越える値は切り上げもしくは切り捨てられる。RGB色空間での3成分のうち、いずれかのみが色域を越えていた場合、その成分のみ値が変更される。3成分の割合が変わると色相も変化するため、色相を保ちながら変換したにも関わらず、変化量の大きさによって意図せず色相までも変化してしまう問題が生じる。

色域の問題を改善するために様々な研究が行われているが<sup>21-24</sup>、RGB色空間のみで処理を完結させることができれば、色空間変換によって生じる不都合を解消することができる。RGB色空間のみでの画像処理手法として、複数の研究が行われている<sup>34-37</sup>。Naikらは、RGB色空間における色相保存の条件式を提唱し、これを用いた画像強調手法を提案した<sup>34</sup>。色相保存の条件式を用いることで、RGB色空間で色相を変更せずに明度を変換することができる。具体的には、入力画素の点を通り、入力画素と等色相である平面（等色相面）上のある直線を用意し、任意の等明度直線との交点を出力画素とする。しかし、Naikらの画像強調手法では彩度が低下するため、村平ら、井上らによって彩度低下を起こさない手法が提案されている<sup>35-37</sup>。従来手法は等色相平面と等明度平面の交線と、各手法が定める直線との交点により色座標を定めるため、強調後の画素値が一意に定まり、彩度の調整はできなかった。

本論文では、彩度調整パラメータを変化させることで、等明度かつ等色相の直線上

の任意の点を出力する手法について述べる。提案手法では、ガンマ補正を利用した彩度調整式を用いることで、RGB色空間の色域から逸脱することなく彩度を調整することが可能となる。提案手法は三つの従来手法を包含した彩度調整を可能にしている。また、本論文では、彩度調整だけでなくRGB色空間内で明度も調整する手法を提案する。彩度低下が発生しない明度領域を利用することで、彩度と明度を独立させて調整することが可能となる。実用例として、RGB色空間での色相を保存した処理を食べ物画像の強調処理に応用し、RGB色空間のみの処理でも人の感覚に合った処理が可能であることを示す。カメラ付き端末の普及やSNSの利用者の増加に伴い、個人のSNS上で食べ物画像を共有するために食べ物を撮影する機会が増えている。しかし、食べ物を撮影する環境の照明等の影響により、食べ物画像の明度や彩度が低下し、食べ物が美味しそうに見えない場合がある<sup>40</sup>。そのため、食べ物を対象にした画像強調の研究が行われている<sup>42-44</sup>。本論文では食べ物の特徴を考慮し、RGB色空間のみで画像の明度及び彩度を強調する手法について述べる。

本論文は、図1.1に示すように五つの章から構成される。

第1章は序論である。

第2章ではカラー画像の変換手法について述べる。まず、色空間変換を伴う従来の変換手法と、RGB色空間を用いた従来の変換手法について概説する。次に、RGB色空間のみで色相を保存したまま明度を変更する場合の変換手法について詳述する。

第3章ではRGB色空間で色相を保存しながら適応的な彩度強調を行う提案手法について述べる。井上らの手法、Naikらの手法の出力結果を基準とし、彩度調整パラメータを用いて出力する色を求める。彩度調整にはガンマ補正を応用した式を定義し、提案手法の出力結果が色域内に収まることを保障する。実験により従来手法の結果を包含していることを示し、提案手法の有効性を検証する。

第4章では、第3章の手法を食べ物画像の彩度強調に応用し、さらに明度の強調も行う手法について述べる。具体的には、まず、色相と彩度を保持したまま明度を強調する。次に、食べ物領域を色相で判断し、食べ物領域のみを彩度強調する。彩度強調には第3章の手法を応用し、変換前の画素の彩度情報を元にパラメータを変化させることで、食べ物画像に適した彩度強調を行う。種々の実験により提案手法の有効性を検証する。

第5章は結論である。本研究の成果を総括する。

## 第2章 RGB色空間における従来のカラー画像強調法

### 2.1 緒言

序論でも述べたように、RGB色空間のみで処理を完結させることで、色空間変換によって生じる不都合さを解消することができる。Naikら、村平ら、井上らによりRGB色空間で色相を保持したまま明度変換する手法が提案されている。2.2では、色空間変換を伴うカラー画像処理法について概説する。2.3ではRGB色空間の性質について述べる。2.4から2.6では、その各手法について詳述し、問題点について述べる。2.8では、本章を総括する。

### 2.2 カラー画像処理

人間の色覚では、L, M, S錐体の3種類の異なる分光感度を持つ視細胞の働きによって色を認識する。これに由来し、あらゆる色光は3つの原刺激の加法混色によって視覚的に再現できると言われている<sup>45</sup>。

波長700.0nm, 546.1nm, 435.8nmの3種類の光を原刺激として、1931年に国際照明委員会(CIE)によって定められた表色系をCIE-RGB表色系と呼ぶ<sup>46</sup>。しかし、等色の都合上、CIE-RGB表色系で計算を行う際に負の値が生じる場合があるため、 $[X], [Y], [Z]$ の3種類の原刺激からなるCIE-XYZ表色系が定義された<sup>47</sup>。CIE-XYZ表色系で規定される色空間内における2点間の距離は、その2点間に対応する知覚色の違いとかなり異なるという点がある。そこで、色空間上の2点間の距離と知覚色の距離が均等になるように定められた、CIE-LAB色空間もCIEによって制定されている。

CIE-RGB表色系およびCIE-XYZ表色系、CIE-LAB色空間は、ディスプレイなどのデバイスの特性に依存しない値であるため、デバイス独立色と呼ばれる。デバイス独立色に対して、デバイスによって再現される色が異なる色をデバイス依存色と呼ぶ。基本的には、色情報の交換はデバイス独立色で行い、色の入出力はデバイス独立色空間で行う。カラー画像処理での色の扱われ方を図2.1に示す。デジタルカメラ等の入力機器や、CRTディスプレイなどの出力機器で用いられるRGB原刺激はCIE-RGB表色系の原刺激値と異なるため、デバイス依存色である。ディスプレイに表示される

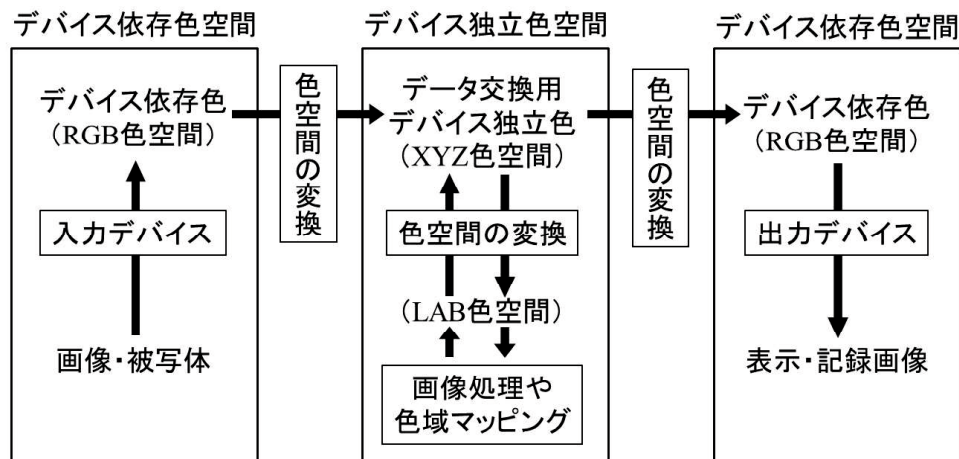


図 2.1: 色空間変換の流れ

色はデバイス依存色であるため、カラー画像処理を行う際は、まず画像をデバイス独立色空間に変換し、次に、色の見え方等を考慮した色空間上で画像処理を行う。最後に、処理結果をデバイス独立色空間に再変換することで最終的な出力画像を得る。

しかし、色空間の変換を伴う画像処理では様々な問題が伴う。一つは処理回数の問題である。図2.1に示すように、画像処理によく用いられるLAB色空間は、デバイスに依存した色空間からXYZ色空間を経由して変換される。LAB色空間上で画像処理を行った後に再び色空間変換を行うため、処理が煩雑になる。もう一つは色域の問題である。ここで色域とは、デバイス依存色空間上で表示可能な値の範囲を指す。LAB色空間は、色同士の距離を重視しているため、複雑な形状を示している。図2.2に、LAB色空間で明度 $L = 50$ となる等明度平面を示す。 $(a^*, b^*) = (0, 0)$ を原点とし、原点からの距離が彩度であり、色相ごとに最大彩度の大きさが異なることが分かる。形状から分かるように、彩度を強調する処理を行った際に、最大彩度を越えた彩度に変換される恐れがある。この値をデバイス依存色空間に戻した際に、デバイス依存色空間の表示範囲を越えてしまい、意図しない色が出力されることがある。

### 2.3 RGB色空間

前節で述べた問題を避けるため、デバイス依存色空間内のみで画像処理を行う研究が行われている。デバイス依存色空間として代表的なものがRGB色空間である。本節ではRGB色空間について述べる。

RGB色空間はコンピュータでは扱いやすいが、ヒトの感覚では認識しにくいもの

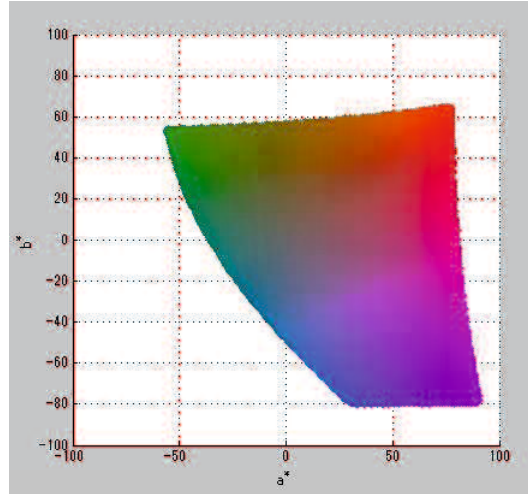


図 2.2: LAB 色空間

になっている. 入力画像上の  $(i, j)$  座標に位置する画素を

$$\mathbf{X}(i, j) = (X_r(i, j), X_g(i, j), X_b(i, j)) \quad (2.1)$$

とする.  $X_r(i, j), X_g(i, j), X_b(i, j)$  はそれぞれ, RGB 色空間における R(Red) 成分, G(Green) 成分, B(Blue) 成分を表している. 実際の値の範囲は  $[0, 255]$  であるが, 計算のため各値は正規化されており,  $0 \leq X_r(i, j) \leq 1, 0 \leq X_g(i, j) \leq 1, 0 \leq X_b(i, j) \leq 1$  となっている.

正規化された RGB 色空間を図 2.3 に示す. RGB 色空間は立方体であり, 立方体内の座標が与えられる.  $(0, 0, 0)$  と  $(1, 1, 1)$  を結ぶ直線上の色は無彩色となり, この直線は無彩色直線と呼ぶこととする.

### 2.3.1 RGB 色空間における等色相面

RGB 色空間における色相は, R,G,B 成分に対して同じスケールリングと同じシフティングを施した場合に保存される. スケールリングの大きさを決める定数を  $\alpha(i, j)$ , シフティングの大きさを決める定数を  $\beta(i, j)$  とすると, 入力画像  $\mathbf{X}(i, j)$  に対して色相が保存された変換後の画素  $\mathbf{Y}(i, j) = (Y_r(i, j), Y_g(i, j), Y_b(i, j))$  は以下の式で与えられる.

$$\begin{cases} Y_r(i, j) = \alpha(i, j)X_r(i, j) + \beta(i, j) \\ Y_g(i, j) = \alpha(i, j)X_g(i, j) + \beta(i, j) \\ Y_b(i, j) = \alpha(i, j)X_b(i, j) + \beta(i, j) \end{cases} \quad (2.2)$$

$\alpha(i, j), \beta(i, j)$  はそれぞれ定数であるため, ベクトル形式で表すと以下のようなになる.

$$\mathbf{Y}(i, j) = \alpha(i, j)\mathbf{X}(i, j) + \beta(i, j)\mathbf{e} \quad (2.3)$$

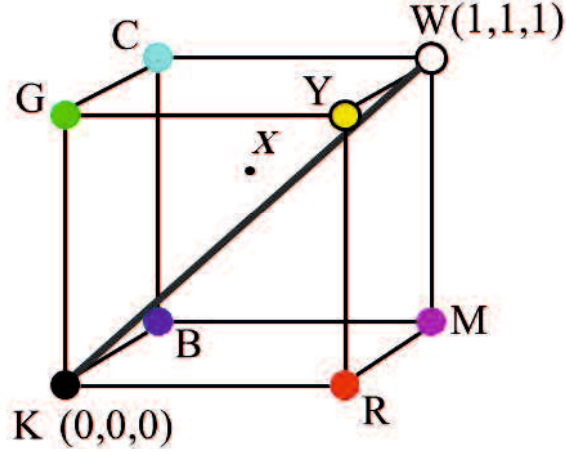


図 2.3: RGB 色空間

ここで,  $e = (1, 1, 1)$  であり, 無彩色直線上のベクトルを表す. (2.3) 式は  $\alpha(i, j)$ ,  $\beta(i, j)$  を媒介変数とし,  $(0, 0, 0)$ ,  $(1, 1, 1)$ ,  $(X_r(i, j), X_g(i, j), X_b(i, j))$  の 3 点を通る平面の方程式であることが分かる. 図 2.4 に, RGB 色空間における等色相面を示す. 各成分の大小関係によって場合分けされている.  $(0, 0, 0)$ ,  $(1, 1, 1)$  を通る直線を対角線に持つ四角形であり, 対角線で分割された三角形はそれぞれ別色相となる. それぞれの三角形で成分の大小関係が変化するためである. 例えば, 図 2.4(a) の等色相面は,  $X_r = X_g$  より  $X_b$  が小さい画素は  $(0, 0, 0)$ ,  $(1, 1, 1)$ ,  $(1, 1, 0)$  を頂点とする三角形が等色相面であり,  $X_r = X_g$  より  $X_b$  が大きい画素は  $(0, 0, 0)$ ,  $(1, 1, 1)$ ,  $(0, 0, 1)$  を頂点とする三角形が等色相面である. ただし,  $(X_r(i, j) = X_g(i, j) = X_b(i, j))$  の場合は平面を構成せず, 無彩色となる. 等色相面の概念図を図 2.5(a) に示す. 本論文では簡単のため, 以降の等色相面の説明には概念図を用いて説明する.

### 2.3.2 色相を保存した明度変換及び彩度の変更

入力画素の明度  $l(i, j)$  は,

$$l(i, j) = \frac{1}{3}(X_r(i, j) + X_g(i, j) + X_b(i, j)) \quad (2.4)$$

$$3l(i, j) = \mathbf{X}(i, j) \cdot \mathbf{e} \quad (2.5)$$

となる. (2.5) 式は  $\mathbf{e} \cdot (\mathbf{X}(i, j) - l(i, j)\mathbf{e})$  と表すことができ,  $l(i, j)\mathbf{e}$  を通り  $\mathbf{e}$  を法線ベクトルとする平面の方程式であることがわかる.  $l(i, j)$  になんらかの処理を施し, 変

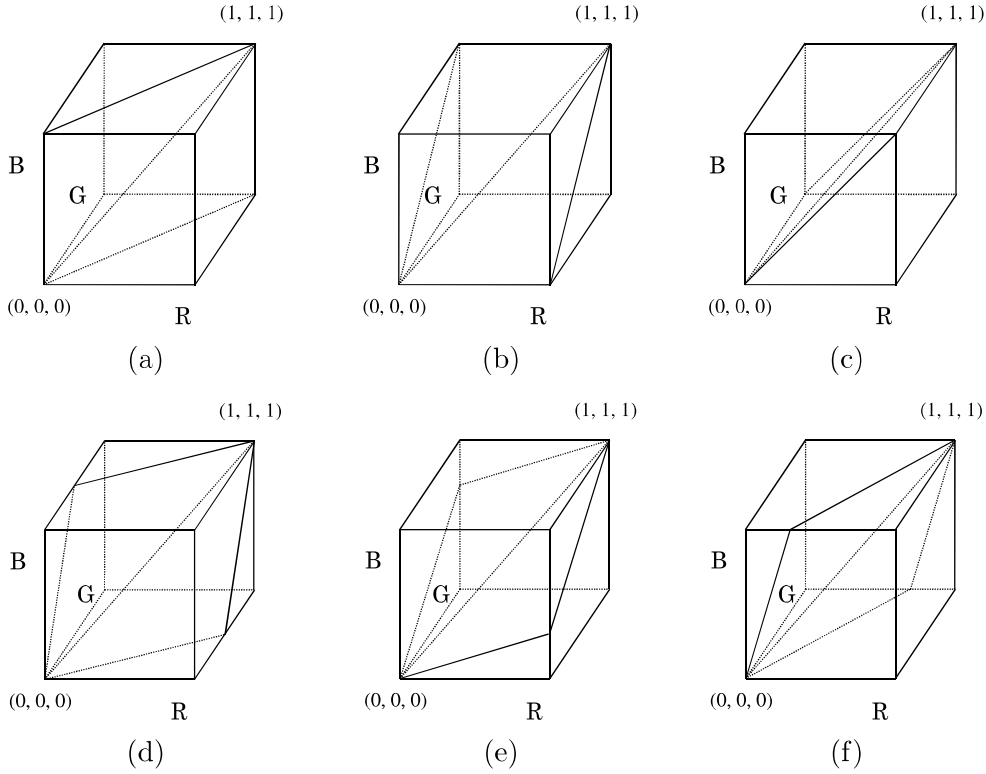


図 2.4: RGB 色空間における等色相面. (a) $X_r = X_g$ , (b) $X_g = X_b$ , (c) $X_r = X_b$ , (d) $X_b > X_g > X_r$  または  $X_r > X_g > X_b$ , (e) $X_g > X_b > X_r$  または  $X_r > X_b > X_g$ , (f) $X_b > X_r > X_g$  または  $X_g > X_r > X_b$  の場合

換後の明度を  $\bar{l}(i, j)$  とする. このとき変換後の画素  $\mathbf{Y}(i, j)$  は

$$\mathbf{Y}(i, j) \cdot \mathbf{e} = 3\bar{l}(i, j) \tag{2.6}$$

で与えられる. これも,  $\mathbf{e} \cdot (\mathbf{Y}(i, j) - l(i, j)\mathbf{e})$  と表すことができ,  $l(i, j)\mathbf{e}$  を通り  $\mathbf{e}$  を法線ベクトルとする平面の方程式である.

(2.3) 式の両辺と  $\mathbf{e}$  の内積をとると,

$$\mathbf{Y}(i, j) \cdot \mathbf{e} = \alpha(i, j)\mathbf{X}(i, j) \cdot \mathbf{e} + \beta(i, j)\mathbf{e} \cdot \mathbf{e}, \tag{2.7}$$

$$3\bar{l}(i, j) = 3\alpha(i, j)l(i, j) + 3\beta(i, j) \tag{2.8}$$

となるので, (2.3) 式の等色相面と, (2.6) 式の等明度面との交線は

$$\mathbf{Y}(i, j) = \alpha(i, j)(\mathbf{X}(i, j) - l(i, j)\mathbf{e}) + \bar{l}(i, j)\mathbf{e} \tag{2.9}$$

で与えられることがわかる.  $\mathbf{X}(i, j)$  と等色相である直線を図 2.5(b) に示す.  $\mathbf{X}(i, j)$  を通り, 無彩色直線に垂直な直線となる.

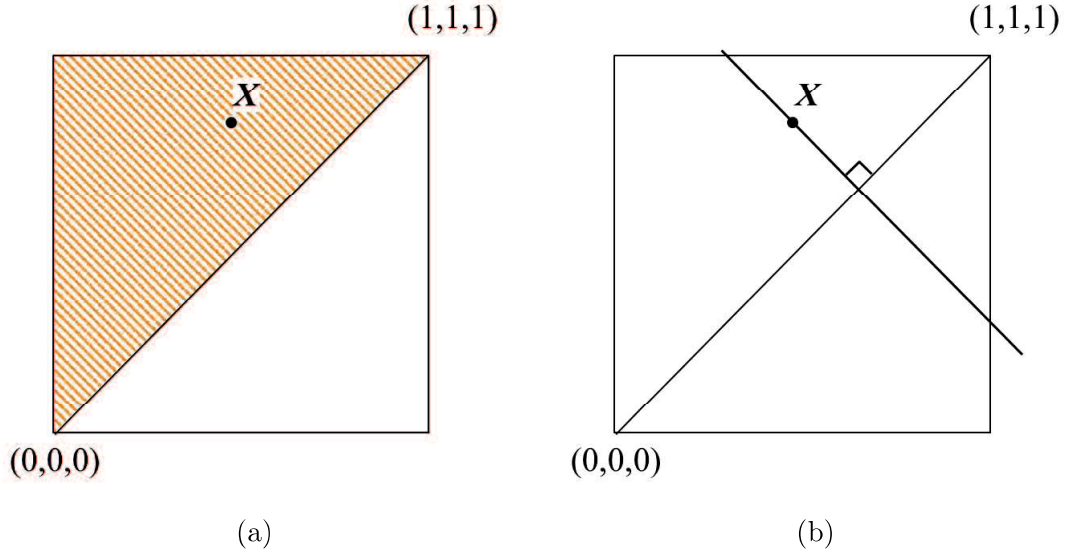


図 2.5: RGB 色空間等色相平面の概念図

## 2.4 Naikらの手法

Naikらの手法は、(2.9)式の直線と、ある直線 $\mathbf{G}(i, j)$ との交点を出力画素とする手法である<sup>34</sup>。場合分けにより、出力画素値がRGB色空間内に収まることが保証されている。 $l(i, j)$ と $\bar{l}(i, j)$ の大小関係により、直線 $\mathbf{G}(i, j)$ は二通りの場合に分けられる。

(a)  $\bar{l}(i, j) \leq l(i, j)$  のとき

$(0, 0, 0)$ と $(X_r(i, j), X_g(i, j), X_b(i, j))$ を通る直線を $\mathbf{G}(i, j)$ とすると、

$$\mathbf{G}(i, j) = a(i, j)\mathbf{X}(i, j) \quad (2.10)$$

である。 $a(i, j)$ は定数である。交点を求めるため $\mathbf{G}(i, j) = \mathbf{Y}(i, j)$ とおくと、

$$(a(i, j) - \alpha(i, j))\mathbf{X}(i, j) + (\alpha(i, j)l(i, j) - \bar{l}(i, j))\mathbf{e} = 0 \quad (2.11)$$

となり、 $a(i, j) = \bar{l}(i, j)/l(i, j)$ となる。以上より、交点 $\mathbf{Y}_N(i, j)$ は

$$\mathbf{Y}_N(i, j) = \bar{l}(i, j)/l(i, j)\mathbf{X}(i, j) \quad (2.12)$$

となる。 $\bar{l}(i, j) \leq l(i, j)$ の場合の直線と交点の関係を図2.6(a)に示す。

(b)  $\bar{l}(i, j) > l(i, j)$  のとき



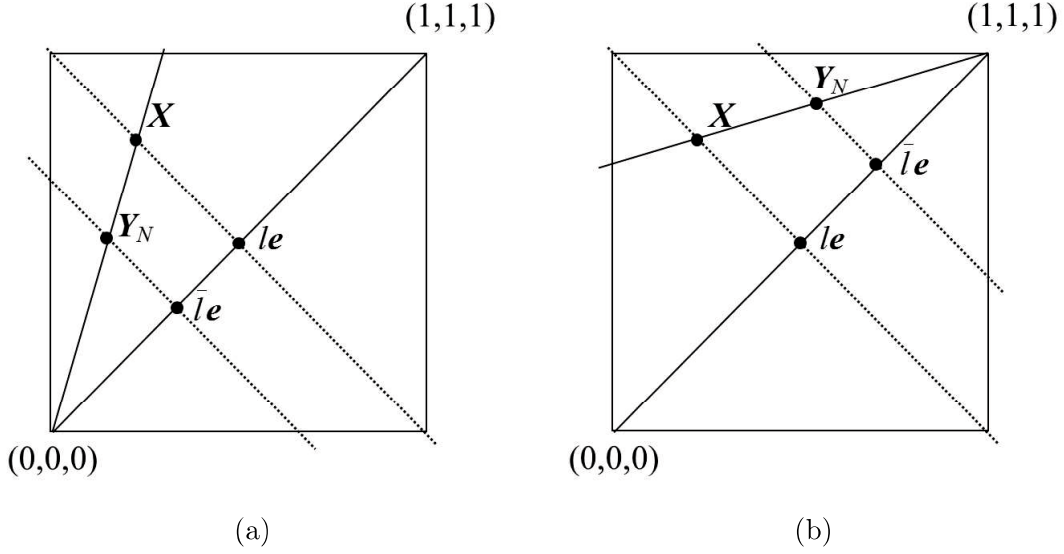


図 2.6: Naik らの手法の概念図. (a) 条件 (a), (b) 条件 (b)

$(1, 1, 1)$  と  $(X_r(i, j), X_g(i, j), X_b(i, j))$  を通る直線を  $\mathbf{G}(i, j)$  とする.

$$\mathbf{G}(i, j) = \mathbf{e} + b(i, j)(\mathbf{X}(i, j) - \mathbf{e}). \quad (2.13)$$

$b(i, j)$  は定数である. さきほどと同様に, 交点を求めるため  $\mathbf{G}(i, j) = \mathbf{Y}(i, j)$  とおくと,

$$(b(i, j) - \alpha(i, j))\mathbf{X}(i, j) + (\alpha(i, j)l(i, j) - \bar{l}(i, j) - b(i, j) + 1)\mathbf{e} = 0 \quad (2.14)$$

となり,  $b(i, j) = (1 - \bar{l}(i, j))/(1 - l(i, j))$  となる. 以上より, 交点  $\mathbf{Y}_N(i, j)$  は

$$\mathbf{Y}_N(i, j) = \mathbf{e} - \frac{1 - \bar{l}(i, j)}{1 - l(i, j)}(\mathbf{e} - \mathbf{X}(i, j)) \quad (2.15)$$

となる.  $\bar{l}(i, j) \leq l(i, j)$  の場合の直線と交点の関係を図 2.6(b) に示す.

条件 (b) は,  $(1, 1, 1)$  を原点として,  $(X_r(i, j), X_g(i, j), X_b(i, j))$  を通る直線を求めることと同義である.  $(1, 1, 1)$  を原点とした場合の入力画素値は以下のように書き換えられ,

$$X_m(i, j) = 1 - X_r(i, j), \quad (2.16)$$

$$X_y(i, j) = 1 - X_g(i, j), \quad (2.17)$$

$$X_c(i, j) = 1 - X_b(i, j) \quad (2.18)$$

となる. これは RGB 色空間から CMY 色空間への変換と等しい. 条件 (b) は CMY 色空間へ画素を変換し, CMY 色空間上で条件 (a) と同様の処理をすとい換えることができる.

## 2.5 村平らの手法

Naikらの手法は、図2.6からわかるように、変換後の点が無彩色直線に近づくため、彩度が低下する問題点がある。村平らの手法では、無彩色直線から遠ざかるように直線  $\mathbf{G}$  を選択し、画素を変換することで、彩度低下の問題を解消する<sup>35</sup>。  $\bar{l}(i, j) \leq l(i, j)$  の場合、Naikらの手法では(2.12)式を用いていたが、村平らの手法では(2.15)式を用いて交点を求める。同様に、  $\bar{l}(i, j) > l(i, j)$  の場合、Naikらの手法では(2.15)式を用いていたが、村平らの手法では(2.12)式を用いて交点を求める。しかし、交点がRGB色空間の色域の外にある場合がある。交点が色域内に収まる判断には、RGB色空間の境界面と直線  $\mathbf{G}'$  の交点を用いる。まず、以下の式を用いて入力画素の成分の最大値と最小値を求める。

$$I_{min}(i, j) = \min(X_r(i, j), X_g(i, j), X_b(i, j)), \quad (2.19)$$

$$I_{max}(i, j) = \max(X_r(i, j), X_g(i, j), X_b(i, j)). \quad (2.20)$$

最小値  $I_{min}(i, j)$  と最大値  $I_{max}(i, j)$  を用いて場合分けを行い計算することで、出力画素値を求める。各条件について以下に詳述する。

(a-1)  $\bar{l}(i, j) \leq l(i, j)$  かつ  $(1 - \bar{l}(i, j))/(1 - l(i, j)) \leq 1/(1 - I_{min})$  のとき

$\bar{l}(i, j) \leq l(i, j)$  の場合は、(2.15)式を用いて交点を求める。(2.15)式と直線  $\mathbf{G}'$  の交点は、立方体の性質上、RGBいずれかの成分が0の値をとる平面上に位置する。このとき、(2.2)式より、色相を保つには全ての成分に対して同じ値を用いてスケールリング、シフティングを行う必要があるため、 $\mathbf{X}(i, j)$ のうち、最も小さい値が0になる。以上より、(2.15)式の  $I_{min}(i, j)$  となる成分に交点の成分の値0を代入すると、

$$0 = 1 - \frac{1 - \bar{l}(i, j)}{1 - l(i, j)}(1 - I_{min}(i, j)), \quad (2.21)$$

$$\frac{1 - \bar{l}(i, j)}{1 - l(i, j)} = \frac{1}{1 - I_{min}(i, j)} \quad (2.22)$$

となる。これは、交点の値が  $1/(1 - I_{min})$  であるとき、境界面上の点であることを意味する。

$(1 - \bar{l}(i, j))/(1 - l(i, j)) \leq 1/(1 - I_{min})$  である場合は、交点は色域内に存在する。この場合、Naikらと同様の手法で出力画素  $\mathbf{Y}_M(i, j)$  を求める。

$$\mathbf{Y}_M(i, j) = \mathbf{e} - \frac{1 - \bar{l}(i, j)}{1 - l(i, j)}(\mathbf{e} - \mathbf{X}(i, j)) \quad (2.23)$$

条件 (a-1) のときのRGB色空間内の様相を図2.7(a)に示す。

(a-2)  $\bar{l}(i, j) \leq l(i, j)$  かつ  $(1 - \bar{l}(i, j))/(1 - l(i, j)) > 1/(1 - I_{min})$  のとき

条件 (a-2) のときの RGB 色空間内の様相を図 2.7(b) に示す.  $(1 - \bar{l}(i, j))/(1 - l(i, j)) > 1/(1 - I_{min})$  の場合, 条件 (a-1) と同様の処理を行うと, 出力画素は色域外の値となる. この場合, まず RGB 色空間との境界面との交点  $\mathbf{M}(i, j)$  を求め, このときの明度を (2.5) 式で計算し,  $\hat{l}(i, j)$  とする.  $(0, 0, 0)$  と  $(M_r(i, j), M_g(i, j), M_b(i, j))$  を通る直線上の出力  $\mathbf{Y}(i, j)$  は,

$$\mathbf{Y}(i, j) = a(i, j)\mathbf{M}(i, j) \quad (2.24)$$

となる. (2.9) 式を用いて,

$$(a(i, j) - \alpha(i, j))\mathbf{M}(i, j) + (\alpha(i, j)\hat{l}(i, j) - \bar{l}(i, j))\mathbf{e} = 0 \quad (2.25)$$

となり,  $a(i, j) = \bar{l}(i, j)/\hat{l}(i, j)$  となる. 以上より, 村平らの手法の出力となる交点  $\mathbf{Y}_M(i, j)$  は

$$\mathbf{Y}_M(i, j) = \bar{l}(i, j)/\hat{l}(i, j)\mathbf{M}(i, j) \quad (2.26)$$

となる.

(b-1)  $\bar{l}(i, j) > l(i, j)$  かつ  $\bar{l}(i, j)/l(i, j) \leq 1/I_{max}$  のとき

条件 (b-1) のときの RGB 色空間内の様相を図 2.7(c) に示す.  $\bar{l}(i, j) > l(i, j)$  の場合は, (2.12) 式を用いて交点を求める.

(2.12) 式と直線  $\mathbf{G}'$  の交点は, RGB いずれかの成分が 1 の値をとる平面上に位置する. このとき, (2.2) 式より,  $\mathbf{X}(i, j)$  のうち, 最も大きい値が 0 となる. 以上より, (2.12) 式の  $I_{max}(i, j)$  となる成分に交点の成分の値 1 を代入すると,

$$1 = \frac{\bar{l}(i, j)}{l(i, j)} I_{max}(i, j), \quad (2.27)$$

$$\frac{\bar{l}(i, j)}{l(i, j)} = \frac{1}{I_{max}(i, j)} \quad (2.28)$$

となる. これは, 交点の値が  $1/(I_{max})$  であるとき, 境界面上の点であることを意味する.

$\bar{l}(i, j)/l(i, j) \leq 1/I_{max}$  である場合は, 交点は色域内に存在する. この場合, Naik らと同様の手法で出力画素  $\mathbf{Y}_M(i, j)$  を求める.

$$\mathbf{Y}_M(i, j) = \frac{\bar{l}(i, j)}{l(i, j)}\mathbf{X}(i, j) \quad (2.29)$$

(b-2)  $\bar{l}(i, j) > l(i, j)$  かつ  $\bar{l}(i, j)/l(i, j) > 1/I_{max}$  のとき

条件 (b-2) のときの RGB 色空間内の様相を図 2.7(d) に示す.  $\bar{l}(i, j)/l(i, j) > 1/I_{max}$  の場合, 条件 (b-1) と同様の処理を行うと, 出力画素は色域外の値となる. この場合, 条件 (a-2) と同様に, まず RGB 色空間との境界面との交点  $\mathbf{M}(i, j)$  を求め, このときの明度を (2.5) 式で計算し,  $\hat{l}(i, j)$  とする.  $(0, 0, 0)$  と  $(M_r(i, j), M_g(i, j), M_b(i, j))$  を通る直線上の出力  $\mathbf{Y}(i, j)$  は,

$$\mathbf{Y}(i, j) = \mathbf{e} + b(i, j)(\mathbf{M}(i, j) - \mathbf{e}) \quad (2.30)$$

となる. (2.9) 式を用いて,

$$(b(i, j) - \alpha(i, j))\mathbf{M}(i, j) + (\alpha(i, j)l(i, j) - \bar{l}(i, j) - b(i, j) + 1)\mathbf{e} = 0 \quad (2.31)$$

となり,  $b(i, j) = (1 - \bar{l}(i, j))/(1 - \hat{l}(i, j))$  となる. 以上より, 交点  $\mathbf{Y}_M(i, j)$  は

$$\mathbf{Y}_M(i, j) = \mathbf{e} - \frac{1 - \bar{l}(i, j)}{1 - \hat{l}(i, j)}\mathbf{M}(i, j) \quad (2.32)$$

となる.

## 2.6 井上らの手法

井上らの手法は, (2.9) 式の直線と RGB 色空間の境界面との交点を求め, 最大彩度色とする手法である<sup>36</sup>. 井上らの手法の概念図を図 2.8 に示す. 図 2.8(a), 図 2.8(b) ともに,  $\bar{l}(i, j)$  の等明度直線上で最も彩度が高い点が出力点となる. 井上らの手法を用いることで, 彩度が最も強調された画像を得ることが出来る.

(2.9) 式は以下の式で表すことができ,

$$\begin{cases} Y_r(i, j) = \alpha(i, j)(X_r(i, j) - l(i, j)) + \bar{l}(i, j) \\ Y_g(i, j) = \alpha(i, j)(X_g(i, j) - l(i, j)) + \bar{l}(i, j) \\ Y_b(i, j) = \alpha(i, j)(X_b(i, j) - l(i, j)) + \bar{l}(i, j) \end{cases} \quad (2.33)$$

となる. 最大彩度色は RGB 色空間の境界面に存在するため, 出力画素値の R, G, B 成分のいずれかは必ず 0 もしくは 1 である. これを利用して, RGB 成分いずれかが 0 もしくは 1 となるように  $\mathbf{X}(i, j)$  に変換を加え, その値が色域内に収まる組み合わせを最大彩度色とする.

(R-1)  $l(i, j) - X_r(i, j) > \varepsilon$  のとき

$l(i, j) - X_r(i, j) > \varepsilon$  であるとき, 変換後の画素  $\mathbf{Y}(i, j)$  は R 成分が 0 となる平面上に位置する可能性がある. そこで, (2.33) 式に  $Y_r(i, j) = 0$  を代入すると,  $Y_g(i, j), Y_b(i, j)$  は以下の式で求めることができる.

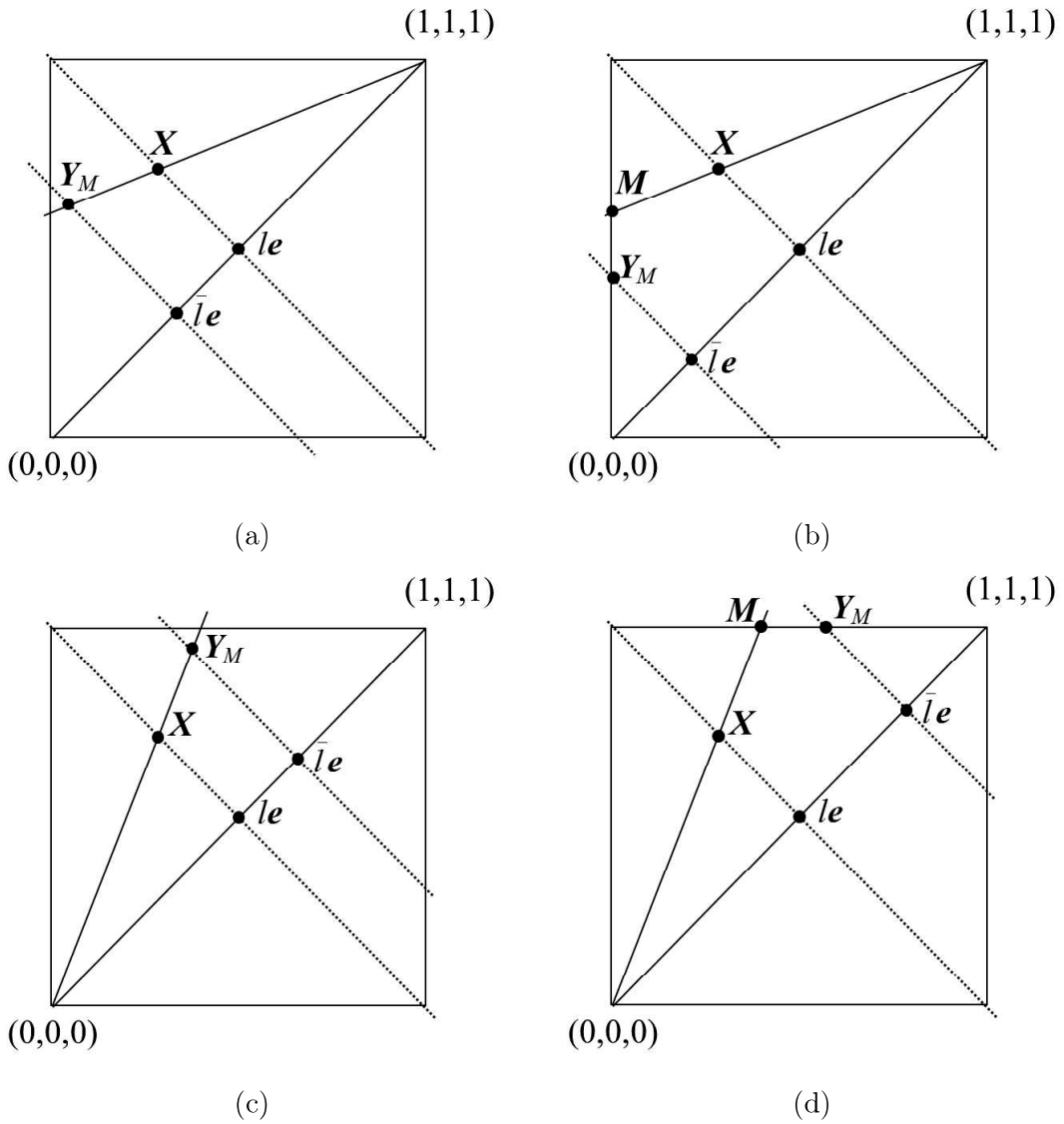


図 2.7: 村平らの手法の概念図. (a) 条件 (a-1), (b) 条件 (a-2), (c) 条件 (b-1), (d) 条件 (b-2)

$$Y_g(i, j) = \frac{\bar{l}(i, j)(X_g(i, j) - X_r(i, j))}{l(i, j) - X_r(i, j)}, \quad (2.34)$$

$$Y_b(i, j) = \frac{\bar{l}(i, j)(X_b(i, j) - X_r(i, j))}{l(i, j) - X_r(i, j)}. \quad (2.35)$$

$\varepsilon$ は微小な正の定数であるため、ゼロ除算が起きないことが保障されている。ここで、 $Y_r(i, j), Y_g(i, j), Y_b(i, j)$ が全て $[0, 1]$ の範囲内であれば、 $\mathbf{Y}(i, j)$ を彩度最大色とし、出力画素とする。いずれかの成分が、 $[0, 1]$ の範囲外であった場合、最大彩度点は他の面に存在するため、他の境界面との交点を考える。

(R-2)  $l(i, j) - X_r(i, j) < -\varepsilon$ のとき

$l(i, j) - X_r(i, j) < -\varepsilon$ であるとき、変換後の画素 $\mathbf{Y}(i, j)$ はR成分が1となる平面上に位置する可能性がある。そこで、(2.33)式に $Y_r(i, j) = 1$ を代入すると、 $Y_g(i, j), Y_b(i, j)$ は以下の式で求めることができる。

$$Y_g(i, j) = \frac{\bar{l}(i, j)(X_g(i, j) - X_r(i, j)) + (l(i, j) - X_g(i, j))}{l(i, j) - X_r(i, j)}, \quad (2.36)$$

$$Y_b(i, j) = \frac{\bar{l}(i, j)(X_b(i, j) - X_r(i, j)) + (l(i, j) - X_b(i, j))}{l(i, j) - X_r(i, j)}. \quad (2.37)$$

ここで、 $Y_r(i, j), Y_g(i, j), Y_b(i, j)$ が全て $[0, 1]$ の範囲内であれば、 $\mathbf{Y}(i, j)$ を彩度最大色とし、出力画素とする。いずれかの成分が、 $[0, 1]$ の範囲外であった場合、最大彩度点は他の面に存在するため、他の境界面との交点を考える。

(G-1)  $l(i, j) - X_g(i, j) > \varepsilon$ のとき

$l(i, j) - X_g(i, j) > \varepsilon$ であるとき、変換後の画素 $\mathbf{Y}(i, j)$ はG成分が0となる平面上に位置する可能性がある。そこで、(2.33)式に $Y_g(i, j) = 0$ を代入すると、 $Y_r(i, j), Y_b(i, j)$ は以下の式で求めることができる。

$$Y_r(i, j) = \frac{\bar{l}(i, j)(X_r(i, j) - X_g(i, j))}{l(i, j) - X_g(i, j)}, \quad (2.38)$$

$$Y_b(i, j) = \frac{\bar{l}(i, j)(X_b(i, j) - X_g(i, j))}{l(i, j) - X_g(i, j)}. \quad (2.39)$$

$\varepsilon$ は微小な正の定数であるため、ゼロ除算が起きないことが保障されている。ここで、 $Y_r(i, j), Y_g(i, j), Y_b(i, j)$ が全て $[0, 1]$ の範囲内であれば、 $\mathbf{Y}(i, j)$ を彩度最大色とし、出力画素とする。いずれかの成分が、 $[0, 1]$ の範囲外であった場合、最大彩度点は他の面に存在するため、他の境界面との交点を考える。

(G-2)  $l(i, j) - X_g(i, j) < -\varepsilon$  のとき

$l(i, j) - X_g(i, j) < -\varepsilon$ であるとき、変換後の画素 $\mathbf{Y}(i, j)$ はR成分が1となる平面上に位置する可能性がある。そこで、(2.33)式に $Y_g(i, j) = 1$ を代入すると、 $Y_r(i, j), Y_b(i, j)$ は以下の式で求めることができる。

$$Y_r(i, j) = \frac{\bar{l}(i, j)(X_r(i, j) - X_g(i, j)) + (l(i, j) - X_g(i, j))}{l(i, j) - X_g(i, j)}, \quad (2.40)$$

$$Y_b(i, j) = \frac{\bar{l}(i, j)(X_b(i, j) - X_g(i, j)) + (l(i, j) - X_b(i, j))}{l(i, j) - X_g(i, j)}. \quad (2.41)$$

ここで、 $Y_r(i, j), Y_g(i, j), Y_b(i, j)$ が全て $[0, 1]$ の範囲内であれば、 $\mathbf{Y}(i, j)$ を彩度最大色とし、出力画素とする。いずれかの成分が、 $[0, 1]$ の範囲外であった場合、最大彩度点は他の面に存在するため、他の境界面との交点を考える。

(B-1)  $l(i, j) - X_b(i, j) > \varepsilon$  のとき

$l(i, j) - X_b(i, j) > \varepsilon$ であるとき、変換後の画素 $\mathbf{Y}(i, j)$ はR成分が0となる平面上に位置する可能性がある。そこで、(2.33)式に $Y_b(i, j) = 0$ を代入すると、 $Y_r(i, j), Y_g(i, j)$ は以下の式で求めることができる。

$$Y_r(i, j) = \frac{\bar{l}(i, j)(X_r(i, j) - X_b(i, j))}{l(i, j) - X_b(i, j)}, \quad (2.42)$$

$$Y_g(i, j) = \frac{\bar{l}(i, j)(X_g(i, j) - X_b(i, j))}{l(i, j) - X_b(i, j)}. \quad (2.43)$$

$\varepsilon$ は微小な正の定数であるため、ゼロ除算が起きないことが保障されている。ここで、 $Y_r(i, j), Y_g(i, j), Y_b(i, j)$ が全て $[0, 1]$ の範囲内であれば、 $\mathbf{Y}(i, j)$ を彩度最大色とし、出力画素とする。いずれかの成分が、 $[0, 1]$ の範囲外であった場合、最大彩度点は他の面に存在するため、他の境界面との交点を考える。

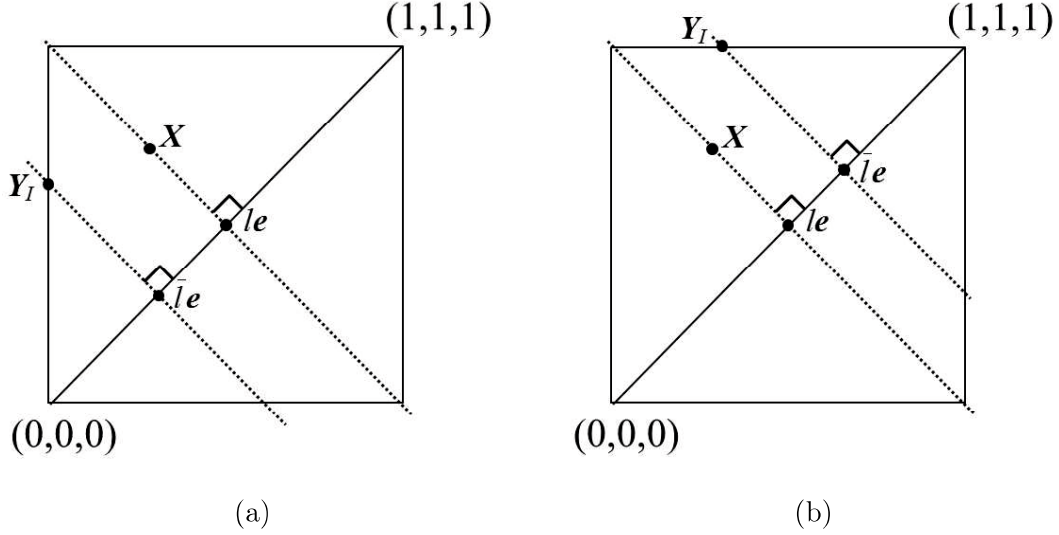


図 2.8: 井上らの手法の概念図. (a)  $\bar{l}(i, j) \leq l(i, j)$ , (b)  $\bar{l}(i, j) > l(i, j)$

(B-2)  $l(i, j) - X_r(i, j) < -\varepsilon$  のとき

$l(i, j) - X_r(i, j) < -\varepsilon$  であるとき, 変換後の画素  $\mathbf{Y}(i, j)$  は R 成分が 1 となる平面上に位置する可能性がある. そこで, (2.33) 式に  $Y_r(i, j) = 1$  を代入すると,  $Y_g(i, j), Y_b(i, j)$  は以下の式で求めることができる.

$$Y_r(i, j) = \frac{\bar{l}(i, j)(X_r(i, j) - X_b(i, j)) + (l(i, j) - X_r(i, j))}{l(i, j) - X_b(i, j)}, \quad (2.44)$$

$$Y_g(i, j) = \frac{\bar{l}(i, j)(X_g(i, j) - X_b(i, j)) + (l(i, j) - X_g(i, j))}{l(i, j) - X_b(i, j)}. \quad (2.45)$$

ここで,  $Y_r(i, j), Y_g(i, j), Y_b(i, j)$  が全て  $[0, 1]$  の範囲内であれば,  $\mathbf{Y}(i, j)$  を彩度最大色とし, 出力画素とする. いずれかの成分が,  $[0, 1]$  の範囲外であった場合, 最大彩度点は他の面に存在するため, 他の境界面との交点を考える.

6 平面のうち, どの場合にも当てはまらなかった場合は無彩色であり, 彩度 0 となる. このときの出力画素  $\mathbf{Y}(i, j)$  は  $\bar{l}(i, j)e$  とする.

すべての画素に対して以上の処理を行うことで, 彩度が最大化された画像を得ることができる.



## 2.7 実験結果

各従来手法の結果を図 2.9 に示す。明度変換にはヒストグラム平滑化<sup>48</sup>を用いた。図 2.9(a) は原画像である。図 2.9(b) の Naik らの手法では、画像全体の彩度が低下していることがわかる。図 2.9(c) の村平らの手法では、Naik らの手法より高彩度な結果を得ることができている。図 2.9(d) の井上らの手法は他の手法と比較して鮮やかな結果となったが、背景の領域などに原画像と色に変化したように見える場所がある。また、この原画像に対して従来手法を施すと、図 2.9 に示す結果が得られるが、その他の結果を得ることはできない。

## 2.8 結言

本章では、まず、RGB色空間とその性質について説明した。特に、RGB色空間での等色相条件について詳述した。また、RGB色空間の等色相条件を考慮した変換手法として、Naik ら、村平ら、井上らの手法について詳しく説明を行った。Naik らはある直線を用意し、等色相等明度直線との交点を求めることで、明度変換後の画素の色相保存を可能にしたが、彩度が低下してしまう問題があった。村平らは Naik らの手法と異なる直線を用いることで、明度変換後の彩度低下を防いだ。井上らの手法は彩度を最大化する手法である。Naik らと村平らの手法は、明度変換を行うことが前提であるため、明度変換を行わない場合は交点を求めることができず、彩度のみの変更ができない。また、直線の交点を求める手法であるため、出力結果は一意に定まってしまう例を示した。井上らの手法は明度変換を行わずに彩度のみを求めることができるが、常に最大彩度に変換されるため、任意の彩度を選択することはできないことを述べた。



図 2.9: 実験結果 (Couple). (a) 原画像, (b)Naik らの方法, (c) 村平らの方法, (d) 井上らの方法

## 第3章 RGB色空間における彩度調整の可能な カラー画像強調法

### 3.1 緒言

前章で説明した三つの方法は、等色相平面と等明度平面の交線と、各手法が定める直線との交点により色座標を求める手法である。彩度は交点1点のみに定まるため、各手法の出力点の間に位置する点は出力できない。また、明度変換が前提条件であるため、彩度のみの変換は考慮されていなかった。3.2では、パラメータによる彩度調整を可能にした、色相を保存した彩度調整法について述べる。3.3では、提案手法の有効性を実験により示す。3.4では、本章を総括する。

### 3.2 提案手法

提案手法の移動範囲を図3.1に示す。 $\mathbf{X}$ は入力画素を表し、 $\mathbf{Y}_N, \mathbf{Y}_M, \mathbf{Y}_I$ はそれぞれ、従来手法であるNaikらの手法、村平らの手法、井上らの手法の出力点である。 $\mathbf{Y}_N, \mathbf{Y}_M, \mathbf{Y}_I$ は等色相かつ等明度の直線上の点であり、入力画素の値と変換後の明度の値が定められた場合、その出力結果は一意に定まる。提案手法の彩度強調では、パラメータを設定し、それを変化させることで赤い実線上の任意の点を出力し、彩度の調整を可能とする。

原画像の座標  $(i, j)$  に位置する入力画素を  $\mathbf{X}(i, j)$  とする。RGB色空間の  $(0, 0, 0)$  と  $(1, 1, 1)$  を結ぶ無彩色軸上に位置する点を  $\mathbf{P}$  とし、入力画素の明度と等明度の点を  $\mathbf{P}_l(i, j)$ 、変換後の明度と等明度の点を  $\mathbf{P}_\bar{l}(i, j)$  とする。 $\mathbf{X}(i, j)$  の明度を  $l(i, j)$ 、変換後の明度を  $\bar{l}(i, j)$  とすると、 $\mathbf{P}_l(i, j)$ 、 $\mathbf{P}_\bar{l}(i, j)$  はそれぞれ、

$$\mathbf{P}_l(i, j) = l(i, j)\mathbf{e}, \quad (3.1)$$

$$\mathbf{P}_\bar{l}(i, j) = \bar{l}(i, j)\mathbf{e} \quad (3.2)$$

と表すことができる。パラメータを用いて最大彩度点と最小彩度点の間にある画素の値を変化させ、任意の点を出力する。

まず、移動範囲の上限を、井上らによって提案された彩度最大化の方法を利用して求める。(2.9)式とRGB色空間の境界との交点を求め、彩度最大色  $\mathbf{Y}_I(i, j)$  とする。

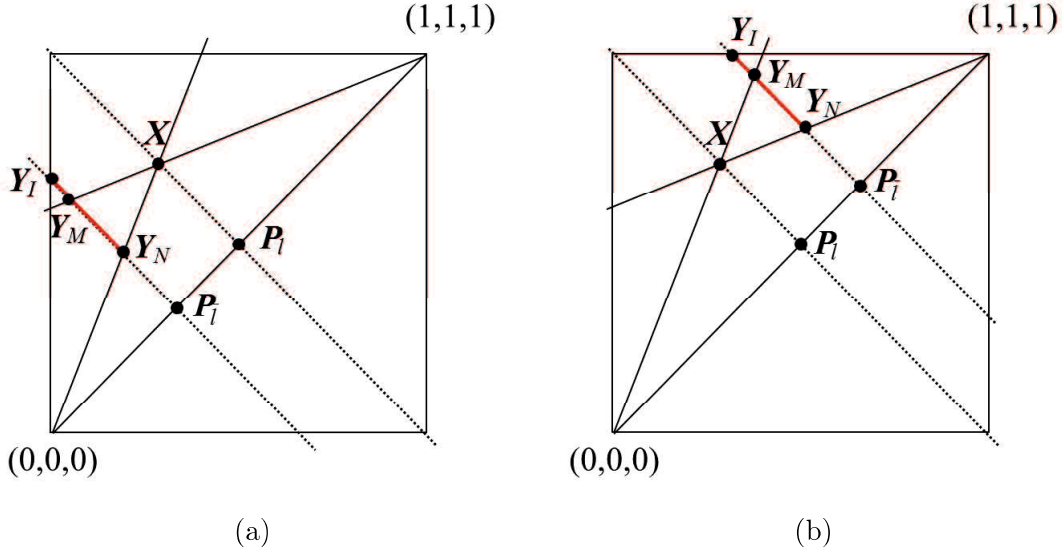


図 3.1: 提案手法の移動範囲. (a)  $\bar{l}(i, j) \leq l(i, j)$ , (b)  $\bar{l}(i, j) > l(i, j)$  の場合

RGB色空間上の画素はベクトルで表され、明度成分ベクトルと彩度成分ベクトルに分解することができる。明度成分ベクトルは無彩色直線上に位置しており、明度変換後の明度成分ベクトルは  $\mathbf{P}_l(i, j)$  である。彩度成分ベクトルは対象の画素と等明度かつ等色相である直線上に位置する。  $\mathbf{Y}_I(i, j)$  の彩度成分ベクトル  $\overrightarrow{\mathbf{P}_l \mathbf{Y}_I}$  は  $\mathbf{Y}_I(i, j)$  と  $\mathbf{P}_l(i, j)$  のベクトルで表すことができ、

$$\overrightarrow{\mathbf{P}_l \mathbf{Y}_I} = \mathbf{Y}_I(i, j) - \mathbf{P}_l(i, j) \quad (3.3)$$

となる。同様に、出力点  $\mathbf{Y}_{pro}(i, j)$  は明度成分ベクトル  $\mathbf{P}_l(i, j)$  と、係数倍した彩度成分ベクトル  $\overrightarrow{\mathbf{P}_l \mathbf{Y}_I}$  を用いて以下の式で表すことができる。

$$\mathbf{Y}_{pro}(i, j) = D_\gamma(i, j) (\mathbf{Y}_I(i, j) - \mathbf{P}_l(i, j)) + \mathbf{P}_l(i, j) \quad (3.4)$$

$D_\gamma(i, j)$  は彩度成分にかかる係数である。(3.4)式の各点はRGB色空間上の3次元ベクトルであり、図3.2のような関係がある。 $D_\gamma(i, j) = 1$ であれば  $\mathbf{Y}_{pro}(i, j) = \mathbf{Y}_I(i, j)$  となり、 $D_\gamma(i, j) = 0$ であれば  $\mathbf{Y}_{pro}(i, j) = \mathbf{P}_l(i, j)$  となる。 $D_\gamma(i, j)$  が  $[0, 1]$  の範囲を移動することで、 $\overrightarrow{\mathbf{P}_l \mathbf{Y}_I}$  上のいずれかの値が出力される。

提案手法では、ガンマ補正の手法を応用することで、彩度強調の係数  $D_\gamma(i, j)$  を定義する。まず、 $\mathbf{Y}_I(i, j)$  と  $\mathbf{P}_l(i, j)$  のRGB色空間におけるユークリッド距離を以下のように定義し、 $D_I(i, j)$  とする。

$$D_I(i, j) = |\mathbf{Y}_I(i, j) - \mathbf{P}_l(i, j)| \quad (3.5)$$

次に、Naikらの手法を用いて、彩度変換の基準となる点を求める。 $\bar{l}(i, j) \leq l(i, j)$  の場合は(2.12)式、 $\bar{l}(i, j) > l(i, j)$  の場合は(2.15)式を用いて  $\mathbf{Y}_N(i, j)$  を求める。 $\mathbf{Y}_N(i, j)$

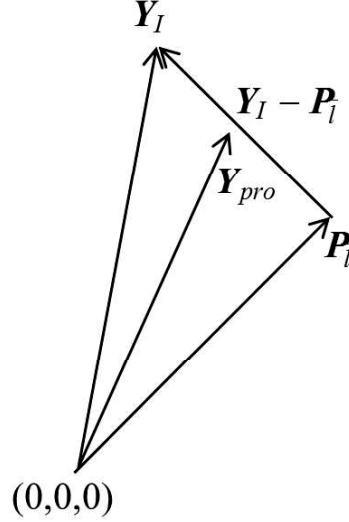


図 3.2: 各点の関係.

と  $P(i, j)$  のユークリッド距離を以下のように  $D_N(i, j)$  とする.

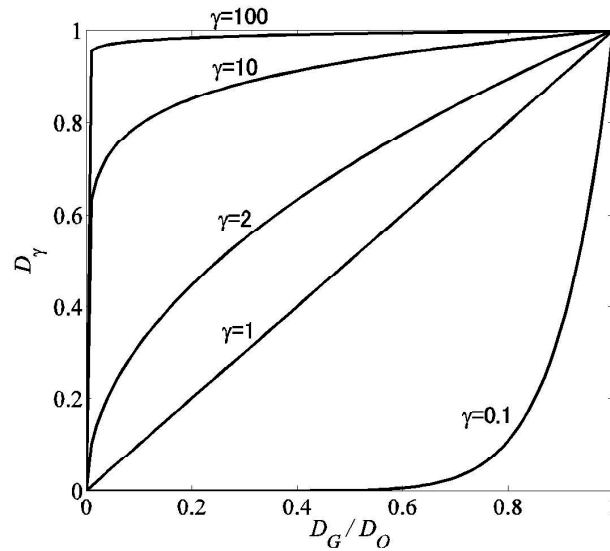
$$D_N(i, j) = |\mathbf{Y}_N(i, j) - \mathbf{P}_I(i, j)| \quad (3.6)$$

提案手法では、ガンマ補正による新たな距離を以下の式で定義する.

$$D_\gamma(i, j) = (D_N(i, j)/D_I(i, j))^{1/\gamma} \quad (3.7)$$

ここで  $\gamma$  はガンマ値であり、彩度強調のパラメータとなる。ガンマ補正は CRT ディスプレイなどの出力の特性を補正するために用いられていた補正法である<sup>38,39</sup>。近年は画像の濃淡補正のために用いられるようになっており、 $\gamma$  の値によって補正式の凹凸が変化することが特徴である。  $D_\gamma(i, j)$  の様子を図 3.3 に示す。ガンマ値を使った変換では出力値が  $[0, 1]$  の範囲に収まることが保障され、本手法のような色域を考慮した変換の際に適している。  $\gamma > 1$  に設定することにより、彩度を全体的に高めることができる。ガンマ補正の特性により、原画像が持っている元々彩度が低い部分と高い部分をできるだけ損なわないようにすることができる。  $D_\gamma(i, j)$  の式に  $D_N(i, j), D_I(i, j)$  を用いることで、井上らの手法と Naik らの手法の結果を出力することができる。 (3.7) 式において、  $\gamma = 1$  とすると  $D_\gamma(i, j) = D_N(i, j)/D_I(i, j)$  となり、出力結果は Naik らの手法と一致する。  $\gamma \rightarrow \infty$  では  $D_\gamma \rightarrow 1$  となるので井上らの手法と一致する。その間で  $\gamma$  を変更すると、村平らの手法と類似した結果や、その他、適切な彩度に調整することが可能となる。さらに、  $\gamma$  を 1 より小さくして 0 に近づけていくと、彩度が低下した画像を得ることもできる。

また、明度を変更せず  $\bar{l}(i, j) = l(i, j)$  とした場合、Naik らと村平らの手法では変換

図 3.3:  $D_\gamma(i, j)$ 

後の色座標は入力画像と同じになり彩度の変更はできないが、提案手法では彩度のみを変更することが可能である。

### 3.3 実験

#### 3.3.1 実験条件

提案手法の有効性を確認するため、自然画像を用いて実験を行った。実験に用いた画像は、Balloon, Couple, Parrots の3種類の24 bit カラー画像であり、画像の大きさはそれぞれ  $256 \times 256$  画素である。

従来手法は明度変換を行うことが前提の手法である。従来手法および提案手法の明度変換はヒストグラム均等化を用いて行った<sup>48</sup>。

#### 3.3.2 主観評価

図3.4～図3.6に実験結果を示す。これらの図より、Naikらの手法では、原画像と比べて明度は強調されているが、彩度が低下していることがわかる(図3.4(b),3.5(b),3.6(b))。一方、村平らの手法はNaikらの手法と比較して、彩度が高くなっており、彩度の改善が見られる(図3.4(c),3.5(c),3.6(c))。さらに、井上らの手法では彩度が強調されているが、鮮やかすぎる画像となっている(図3.4(d),3.5(d),3.6(d))。提案手法ではガンマ値を変更することで、Naikらの手法、村平らの手法の結果と比較して彩度が高

く、さらに、井上らの手法の結果と比較して、彩度が低い画像を生成することができていることがわかる。

提案手法の結果を画像ごとに詳細に確認すると、Balloon (図 3.4(f)) の場合、Naik らの手法では彩度低下によりくすんで見えていた、人物の肌の色やや青い風船が鮮やかになった。また、人物の顔における風船の影の部分や奥にある紫の風船の彩度は抑えられており、原画像の特徴が保持されている。Couple (図 3.5(f)) では、カーテンや人物の上着の彩度は適切に強調されている。一方、男性のネクタイ・ワイシャツや男性の背後にあるイスの影などは彩度強調の影響をあまり受けていない。これらの結果から、提案手法は適切な彩度強調が行われているといえる。

しかしながら、Parrots (図 3.6(f)) では、すべての手法で黄色い鳥の胸の部分や赤い鳥の頭の部分において、原画像より白くなる結果となった。これは、Parrots は原画像においてすでに十分な明度があるにも関わらず、ヒストグラム均等化によって明度強調が行われたことが原因と考えられる。図 3.7 に Balloon, Couple, Parrots の原画像の正規化された明度分布を示す。この図より、Balloon は明度の最大と最小の差で定義されるコントラストが小さく、また Couple は明らかに明度の低い値に分布が偏っていることがわかる。Parrots はコントラストも大きく、明度が高い値にも分布が存在している。

Balloon において提案手法のパラメータを変更した結果を図 3.8 に示す。パラメータの値が大きいほど、彩度強調度合が大きくなる。Naik らの手法と井上らの手法の彩度の間の、様々な彩度を出力することができていることがわかる。

Naik ら、村平らの手法と比較した場合の提案手法の利点は、明度強調を前提としない点にある。Parrots に対して明度強調せず彩度強調のみを行った場合の結果を図 3.10 に示す。彩度のみを変換することで、鮮やかな色を表現することが可能になっている。

### 3.3.3 各成分の変化

Balloon における RGB 成分の変化を図 3.11 に示す。原画像と各手法の実験結果の RGB 色空間での分布図であり、 $20 \times 20$  画素毎に代表点を抽出しプロットしている。提案手法は  $\gamma = 5$  の結果を用いた。図 3.11 の各平面の  $(0, 0)$ ,  $(1, 1)$  を結ぶ直線が無彩色直線となっている。無彩色直線との距離が近い画素ほど低彩度であることを示す。

Balloon は全体的に彩度の低い画像であるため、原画像の画素は無彩色直線付近にプロットされている。Naik らの手法の画素は、原画像の画素より彩度が低下していることが分かる。村平らの手法の画素は、Naik らの手法と比較して彩度が高くなっていることが分かる。井上らの手法では最大彩度点となるため、色空間の境界上に画素がプロットされている。また、村平らの手法は井上らの手法の出力画素と同じ位置



図 3.4: 実験結果 (Balloon). (a) 原画像, (b)Naik らの手法, (c) 村平らの手法, (d) 井上らの手法, (e) 提案手法  $\gamma = 2$ , (f) 提案手法  $\gamma = 5$





図 3.5: 実験結果 (Couple). (a) 原画像, (b)Naik らの手法, (c) 村平らの手法, (d) 井上らの手法, (e) 提案手法  $\gamma = 2$ , (f) 提案手法  $\gamma = 5$

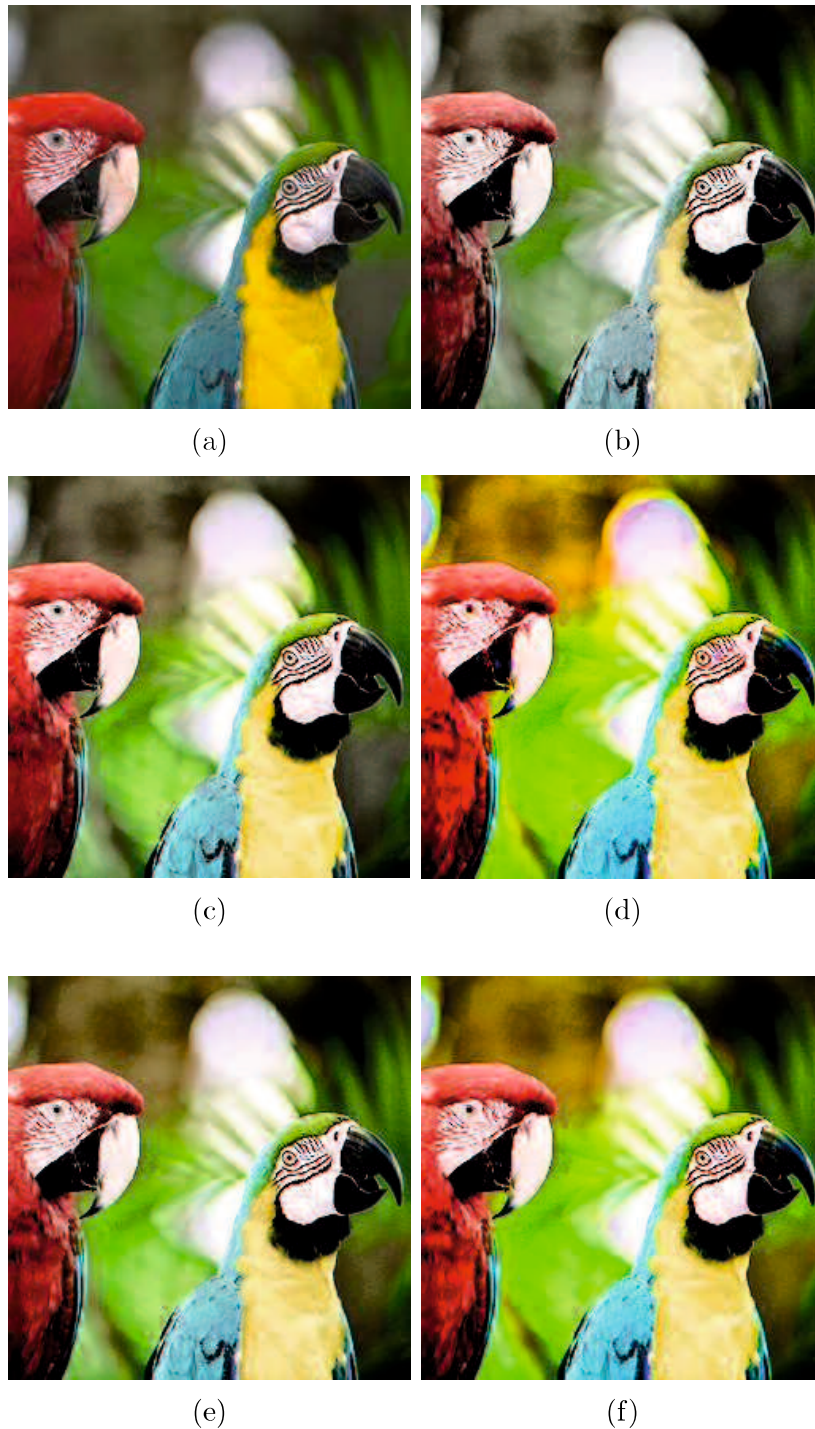
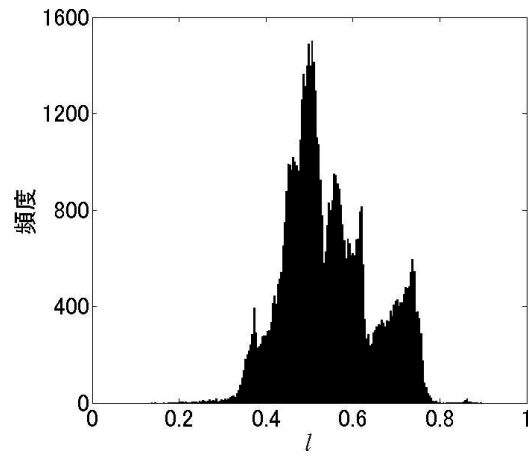
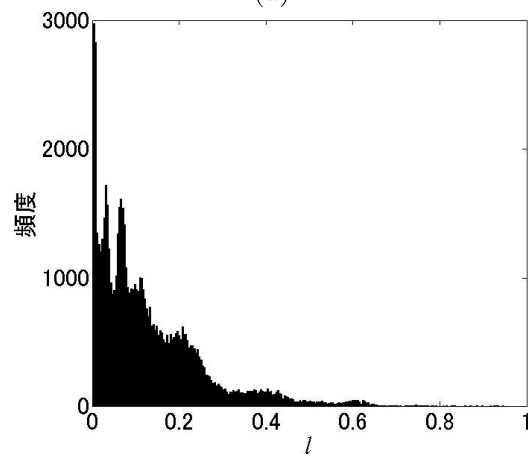


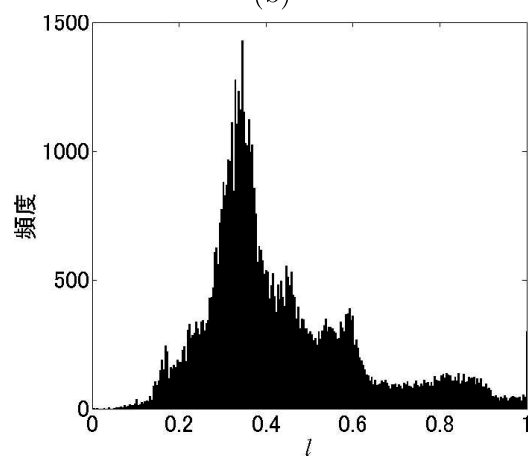
図 3.6: 実験結果 (Parrots). (a) 原画像, (b) Naik らの手法, (c) 村平らの手法, (d) 井上らの手法, (e) 提案手法  $\gamma = 2$ , (f) 提案手法  $\gamma = 5$



(a)



(b)



(c)

図 3.7: 原画像の明度分布. (a)Balloon, (b)Couple, (c)Parrots

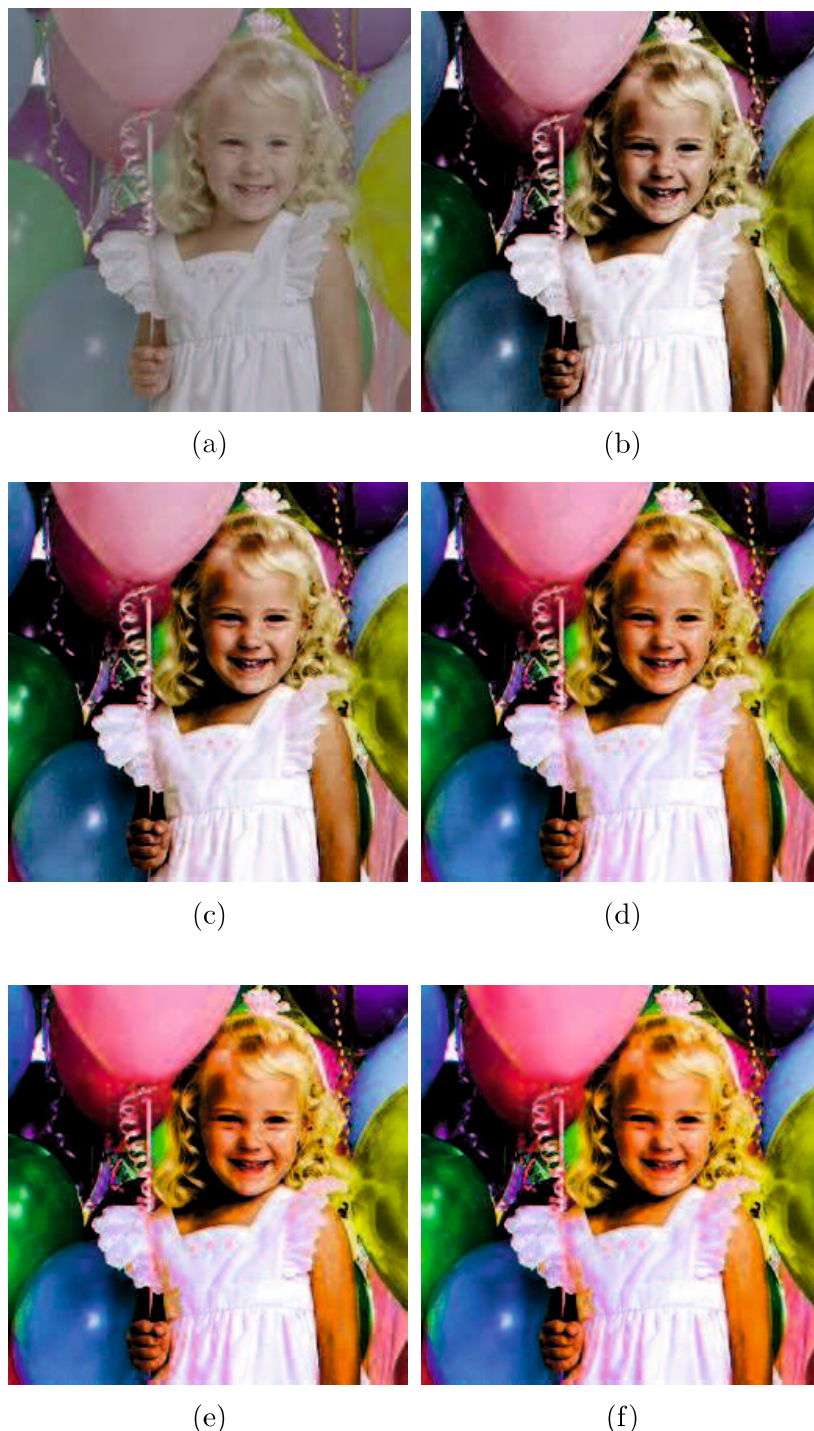


図 3.8: パラメータ変換実験結果 (Balloon). (a) 原画像, (b) 提案手法  $\gamma = 2$ , (c) 提案手法  $\gamma = 3$ , (d) 提案手法  $\gamma = 5$ , (e) 提案手法  $\gamma = 10$ , (f) 提案手法  $\gamma = 20$

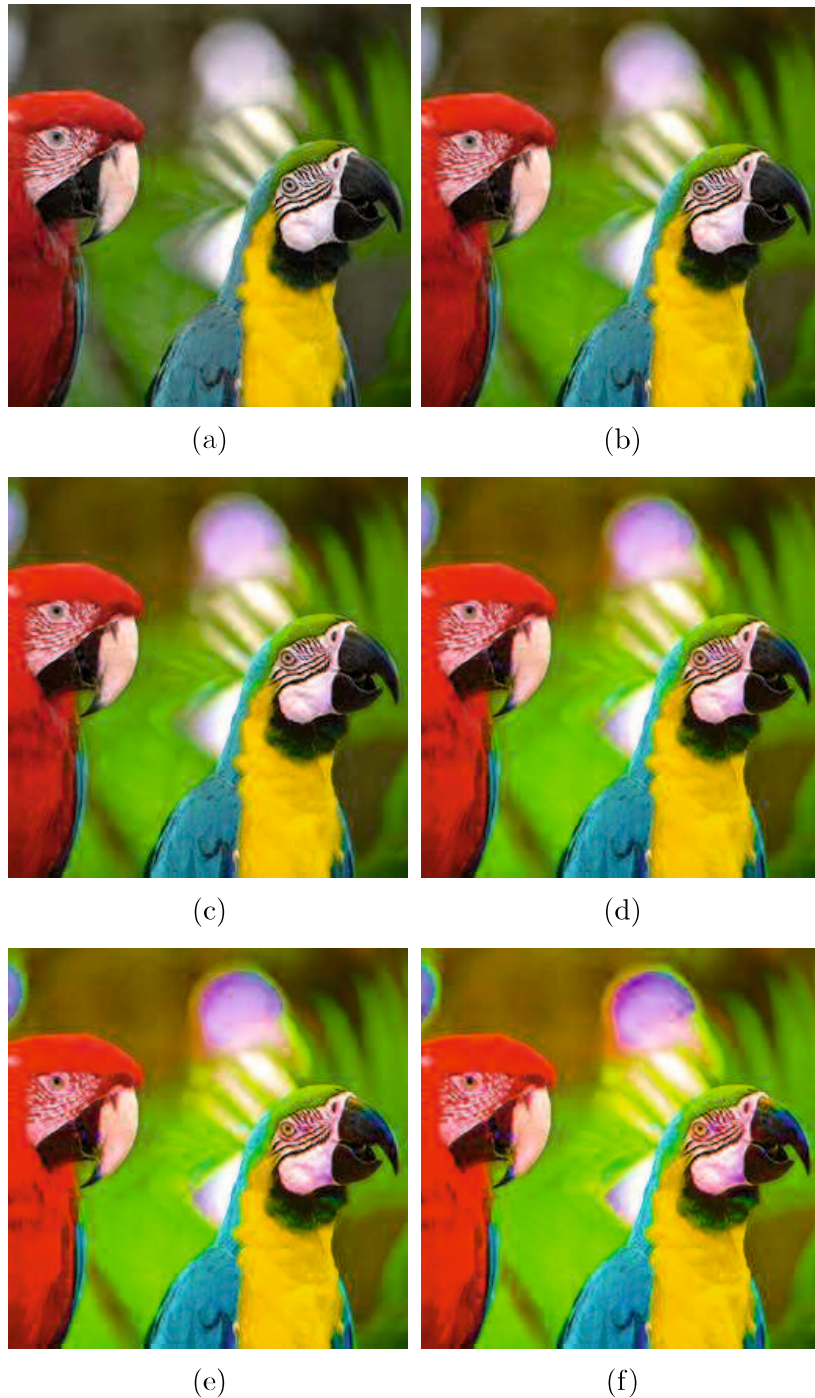


図 3.9: 実験結果 (parrots, 明度変更なし). (a) 原画像, (b) 提案手法  $\gamma = 1.5$ , (c) 提案手法  $\gamma = 2$ , (d) 提案手法  $\gamma = 3$ , (e) 提案手法  $\gamma = 5$ , (f) 提案手法  $\gamma = 10$



図 3.10: 実験結果 (Parrots, 明度変更なし). (a) 提案手法  $\gamma = 2$ , (b) HSI 色空間を用いた方法

にプロットされている画素も見受けられる。場合分けにより最大彩度点を出力する場合があるためだと考えられる。提案手法は  $\gamma = 5$  とした場合、Naik ら、村平らの手法と比較して彩度が高くなっていることがわかる。また、提案手法では、低明度、高明度の画素と比較して、中明度付近の画素ほど彩度が高くなっている。これは  $\gamma$  値による変換のためであり、 $\gamma$  値が有効に働いていることがわかる。

Balloon における色相と彩度の変化を図 3.12 に示す。0 度が赤であり、黄、緑、青と角度により色相が変化する。また、中央から画素までの距離が彩度を表している。

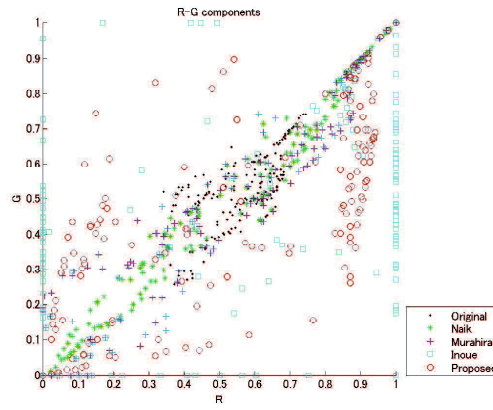
全ての手法において色相は変化しないため、原画像の画素と等しい色相の直線上に変化後の画素が存在している。Naik らの手法の画素は原画像と比較してグラフ中央に移動しており、彩度低下していることがわかる。井上らの手法は最も彩度が高い。提案手法は Naik ら、村平らの手法と比較して彩度が高いことがわかる。

### 3.3.4 パラメータ設定変更結果と従来手法との関連性

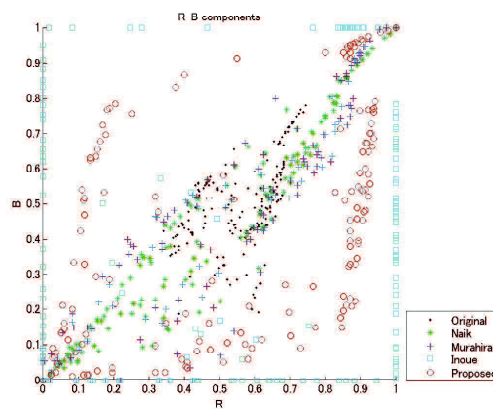
提案手法の出力結果が従来手法に近づくように、 $\gamma$  を変化させた実験結果を表 3.1 及び図 3.13～図 3.15 に示す。従来手法との比較には MSE を用いた<sup>48</sup>。MSE は画像の類似度を評価するための指標であり、以下の式で得られる。

$$\text{MSE} = \frac{1}{3mn} \sum_{o \in \{r,g,b\}} \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^n (Y_{pro,o}(p,q) - Y_{c,o}(p,q))^2. \quad (3.8)$$

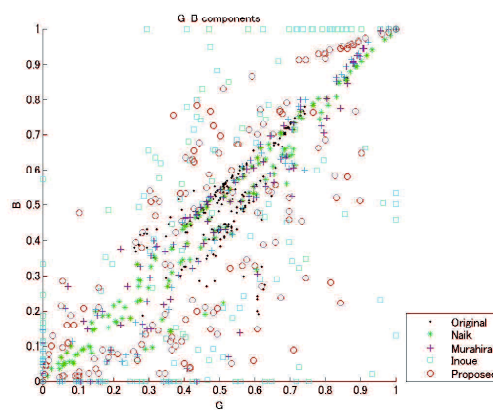
$m, n$  はそれぞれ画像の縦と横の画素数であり、提案手法の  $o$  成分の出力  $Y_{pro,o}$  と、比較手法の  $o$  成分の出力  $Y_{c,o}$  の二乗誤差から MSE は求められる。MSE が小さいほど画像が似ているといえる。



(a)



(b)



(c)

図 3.11: RGB 色空間での分布. (a)R-G 平面, (b)R-B 平面, (c)G-B 平面

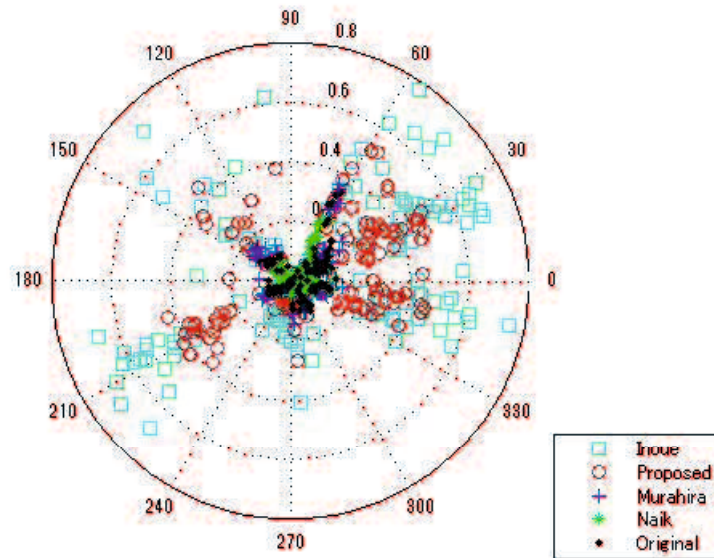


図 3.12: 色相分布.

3.2節より, Naik らの手法との比較では  $\gamma = 1$  とした提案手法を用いた. 表 3.1 より, Naik らの手法の結果と提案手法の結果の MSE は 1 以下となっている. わずかな差は計算時に生じる丸め誤差であると考えられ, Naik らと同等の結果を得られていると言える.

$\gamma \rightarrow \infty$  に近づけるほど井上らの結果に近づく.  $\gamma = 100$  とした場合の MSE は各画素 1 の差もないほどの微小な差を表すため,  $\gamma = 100$  程度に設定することで井上らの結果と同等の結果を得ることができると言える.

村平らの手法と  $\gamma$  の値には決まった関連性がない.  $\gamma = 1$  から 0.01 刻みで  $\gamma$  を増加させながら求めた提案手法の結果と, 村平らの手法の結果の MSE を取り, MSE が減少から増加に転じる時の  $\gamma$  の値を比較に用いた. 以上の処理で求めた  $\gamma$  によって得られた提案手法の結果と村平らの結果から得られた MSE は 20 以上であり, 提案手法と村平らの手法との間で 256 段階の色表現のうち 5 程度の違いがあることになる. 画素によって差の大きさは異なるため, 画像として似ているが目で見ると違いが見取れる程度の差がある画素もある. 画像によって  $\gamma$  の値が異なる理由として, 村平らの手法の条件分岐が関係していると考えられる. 村平らの手法では, 用意した直線と等明度等色相の直線との交点が色域外にある場合, その値を出力せずに色域内に収まる最大彩度点を求め, これを出力点とする. 最大彩度点は井上らの手法と同等の結果となるため, 一つの画像内に, 色域内の中ほどに出力される色と, 最大彩度をとる色が混在



Naik			Murahira			Inoue		
name	$\gamma$	MSE	name	$\gamma$	MSE	name	$\gamma$	MSE
balloon	1	0.0013	balloon	1.31	20.3545	balloon	100	0.8637
parrots	1	0.0014	parrots	1.63	26.0650	parrots	100	0.6316
couple	1	0.0097	couple	2.89	45.9771	couple	100	1.7485
lenna	1	0.0006	lenna	1.55	26.9412	lenna	100	0.2036
airplane	1	0.0029	airplane	1.70	23.2385	airplane	100	3.0700

表 3.1: 従来手法との MSE

していることになる。提案手法でそれぞれの色と等しい彩度を得るには、それぞれ異なる  $\gamma$  を与える必要があり、これによって村平らの結果と近い画像を得るには限界があると言える。

図 3.13~3.15 では、それぞれ、(a),(c),(e) が Naik ら、村平ら、井上らの手法であり、(b),(d),(f) が各従来手法に近づくよう  $\gamma$  を設定した提案手法の結果である。これらの図より、Naik ら、井上らの手法とほぼ等しい結果が得られていることが分かる。村平らの手法との比較では、特に図 3.15(d) において、村平らの手法と異なる色が見られる。村平らの手法と比較して、提案手法の結果の鮮やかさが低いことがわかる。

### 3.3.5 他の色空間との比較

また、比較のため、HSI 色空間で彩度強調を行った結果を図 3.10(b) に示す。図 3.10(a) は提案手法に対して彩度強調のみを行った結果である。RGB 色空間と HSI 色空間の変換、逆変換は文献<sup>49</sup>の方法を用いた。彩度の強調は HSI 色空間での彩度成分のヒストグラム平坦化により行い、逆変換のとき色域を超えた場合は、色域の最大値、最小値にそれぞれ切り上げもしくは切り捨てを行った。HSI 色空間を用いた実験結果においても、画像にそれほど違和感なく彩度強調ができていた。しかし、原色に近い赤い鳥の頭の部分では、色域を越えて強調された影響で、赤の領域の微小な差が無くなり、色がつぶれてしまっている。

一方、提案手法では、RGB 色空間の色域を超えることがないので、赤い鳥の頭の部分において良好な結果を得ている。RGB 色空間の三原色である赤、緑、青の HSI 色空間の色域は、RGB 色空間に比べて 3 倍に広がっている<sup>50</sup>。このような色域の差が特に原色に近い部分に影響し、色域を越える強調を行った場合、画質が劣化する場合があると考えられる。

### 3.4 結言

本章では，RGB色空間で色相を保存しながら適応的に彩度を強調する手法を提案し，実験によりその有効性を確認した．適応的彩度強調法はパラメータによって任意の彩度を得ることができ，Naikら，村平ら，井上らの手法も包括した手法になっている．また，明度変換を行わずに彩度のみを強調することも可能である．



図 3.13: 実験結果 (Balloon). (a)Naik らの手法, (b) 提案手法  $\gamma = 1$ , (c) 村平らの手法, (d) 提案手法  $\gamma = 1.31$ , (e) 井上らの手法, (f) 提案手法  $\gamma = 100$



図 3.14: 実験結果 (parrots). (a)Naik らの手法, (b) 提案手法  $\gamma = 1$ , (c) 村平らの手法, (d) 提案手法  $\gamma = 1.31$ , (e) 井上らの手法, (f) 提案手法  $\gamma = 100$



図 3.15: 実験結果 (couple). (a)Naik らの手法, (b) 提案手法  $\gamma = 1$ , (c) 村平らの手法, (d) 提案手法  $\gamma = 1.31$ , (e) 井上らの手法, (f) 提案手法  $\gamma = 100$

## 第4章 RGB色空間における食べ物画像の明度及び彩度の強調法

### 4.1 緒言

前章で提案した手法は彩度の適応的な強調を行う手法である。4.2では、明度の適応的な強調法を加え、実際に食べ物画像を強調する手法について述べる。4.2.1では、RGB色空間の色域を考慮した明度変換法について述べる。4.2.2では、色相を利用した彩度強調のスイッチング法について述べる。4.2.3では、前章の方法を応用した彩度強調手法について述べる。4.3では、提案手法の有効性を実験により示す。4.4では、本章を総括する。

### 4.2 提案手法

スマートフォンなどの携帯端末で食べ物画像を撮影する場合、飲食店の店内などの室内であることが多い。一般的に飲食店は室内の照明を控えめにしている場合が多く、撮影環境としては適していない場合が多い。そのため、撮影に必要な光量が足りず、撮影した食べ物画像が暗く見えることがある。

食べ物が美味しそうに見える理由の一つとして、鮮やかさが挙げられる。鮮やかであるほど新鮮であるとされ、食品の鮮度を見分ける際にも鮮やかさに注目する。商品のミカンが赤いネットに包まれていることが多いが、これは、赤いネット越しに見るミカンは、実際のミカンの色と比較して色鮮やかに見え、美味しそうなお印象を与えるためである。鮮やかに見える処理を施せば、食べ物はより美味しそうに見えると言えよう。スマートフォンなどの携帯端末で撮影した食べ物画像は、明るさだけでなく彩度も低下するため、双方の効果によって食べ物が美味しそうに見えない場合がある。

提案手法の流れを図4.1に示す。まず、移動可能な彩度の範囲を考慮した明度強調を行う。次に、色相を用いて、食べ物の領域か否かを判断し、食べ物の領域と判断された画素のみに対して彩度強調を行う。最後に、前章の彩度強調法を応用した彩度強調を行う。彩度強調のためのパラメータは、食べ物画像の特徴を考慮して、画素毎に適応的にパラメータを変化させる。

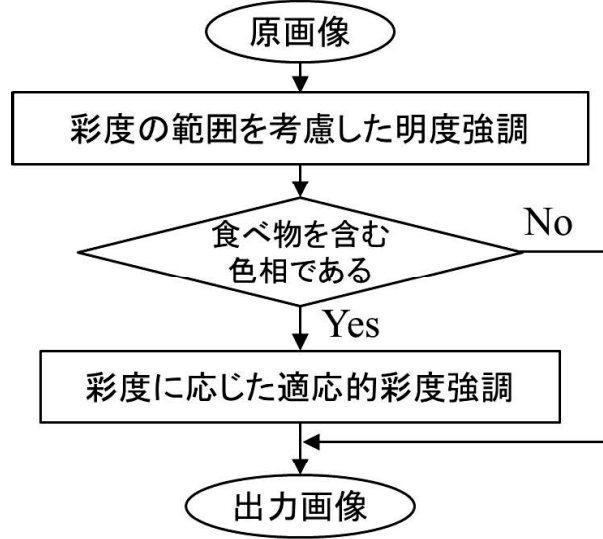


図 4.1: 提案手法の流れ.

#### 4.2.1 色域を考慮した明度変換

$(0, 0, 0)$ ,  $(1, 1, 1)$  を結ぶ無彩色直線上の彩度は 0 であり, 無彩色直線から遠ざかるほど彩度は大きくなる. ある画素から無彩色直線に引いた垂線の大きさが彩度になるため, 入力画素  $\mathbf{X}(i, j)$  の彩度  $S(i, j)$  は以下の式となる.

$$S(i, j) = \|\mathbf{X}(i, j) - \mathbf{P}(i, j)\|. \quad (4.1)$$

$S(i, j)$  は以下のように書き換えられ,

$$S(i, j) = \|\mathbf{X}(i, j) - l(i, j)\mathbf{e}\| \quad (4.2)$$

$$= \|\mathbf{X}(i, j) - \left(\mathbf{X}(i, j) \cdot \frac{\mathbf{e}}{|\mathbf{e}|}\right) \frac{\mathbf{e}}{|\mathbf{e}|}\| \quad (4.3)$$

となる. ここで,  $\mathbf{X}(i, j)$  と等色相である画素  $\mathbf{Y}(i, j)$  の彩度は, (2.3) 式より

$$S_Y(i, j) = \|\mathbf{Y}(i, j) - \bar{l}(i, j)\mathbf{e}\| \quad (4.4)$$

$$= \|\alpha(i, j)\mathbf{X}(i, j) + \beta(i, j)\mathbf{e} - \bar{l}(i, j)\mathbf{e}\| \quad (4.5)$$

$$= \|\alpha(i, j)\mathbf{X}(i, j) - \left(\alpha(i, j)\mathbf{X}(i, j) \cdot \frac{\mathbf{e}}{|\mathbf{e}|}\right) \frac{\mathbf{e}}{|\mathbf{e}|}\| \quad (4.6)$$

である. (2.3) 式の第二項  $\beta(i, j)\mathbf{e}$  は彩度に影響を与えないことがわかる. つまり,  $\alpha(i, j)$  を変更せずに  $\beta(i, j)$  のみ変更することで, 彩度を保存しながら明度を変更することができる. 以上より, 入力画素  $\mathbf{X}(i, j)$  と等色相かつ等彩度の画素は,

$$\mathbf{Y}(i, j) = \mathbf{X}(i, j) + \beta(i, j)\mathbf{e} \quad (4.7)$$

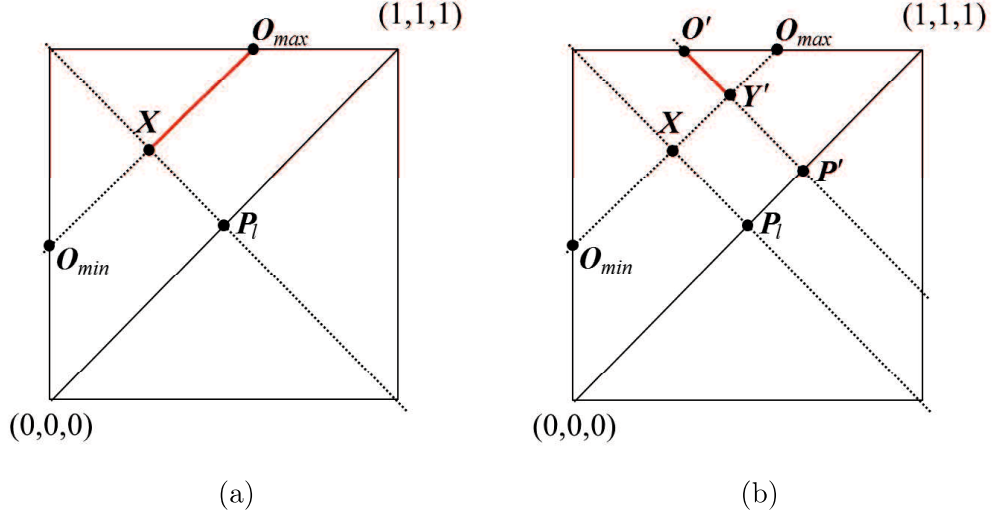


図 4.2: 提案手法の強調領域.

で表すことができ、無彩色直線と平行な直線上に位置する.

等色相, 等彩度の直線と RGB 空間の側面との交点のうち, 明度が小さい点を  $O_{min}(i, j)$ , 大きい点を  $O_{max}(i, j)$  とする. 提案手法での強調領域を図 4.2(a) に示す.  $O_{max}(i, j)$  の明度より明度を大きくすると, 出力点は RGB 色空間の色域の範囲外となる. 色域内に収めるために, 村平らの手法と同様に RGB 色空間の側面を移動する処理を行うと, 彩度が低下してしまう. 移動範囲を赤い線分上に限定することで, 入力画素の彩度を保ったまま明度を強調することができる.

$O_{min}(i, j), O_{max}(i, j)$  間を移動させることで, 彩度を保存しながら明度変換を行う.  $O_{min}(i, j), O_{max}(i, j)$  の求め方を以下に示す.

$$O_{min}(i, j) = \mathbf{X}(i, j) - I_{min}(i, j)\mathbf{e}, \quad (4.8)$$

$$O_{max}(i, j) = \mathbf{X}(i, j) + (1 - I_{max}(i, j))\mathbf{e}, \quad (4.9)$$

$$I_{min}(i, j) = \min(X_r(i, j), X_g(i, j), X_b(i, j)), \quad (4.10)$$

$$I_{max}(i, j) = \max(X_r(i, j), X_g(i, j), X_b(i, j)). \quad (4.11)$$

$I_{min}(i, j), I_{max}(i, j)$  はそれぞれ, 入力画素の 3 成分の中での最小値および最大値である.  $O_{min}(i, j), O_{max}(i, j)$  は RGB 色空間の側面との交点であるので, 3 成分のうちいずれかが 0 または 1 である. (4.7) 式より, シフティングのみを用いて入力画素の 3 成分のうちいずれかを 0 または 1 にすることで, 入力画素と等色相かつ等彩度の点  $O_{min}(i, j), O_{max}(i, j)$  を求めることができる.



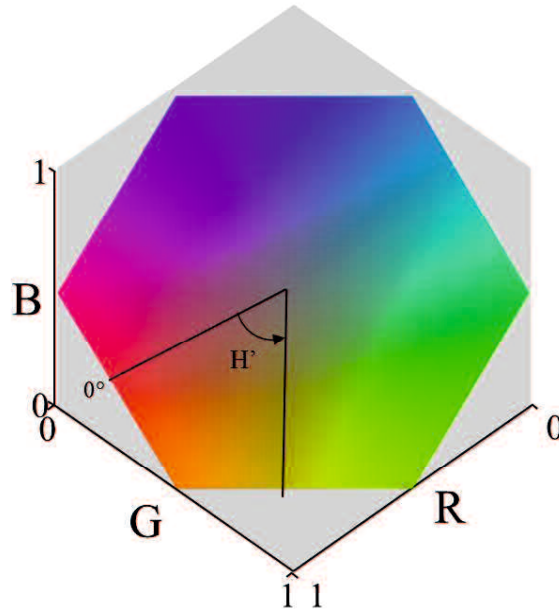


図 4.3: RGB 色空間の色相.

明度変換後の点  $\mathbf{Y}'(i, j)$  は次式で求められる.

$$\mathbf{Y}'(i, j) = D_L(i, j)(\mathbf{O}_{max}(i, j) - \mathbf{O}_{min}(i, j)) + \mathbf{O}_{min}(i, j), \quad (4.12)$$

$$D_L(i, j) = \left( \frac{l(i, j) - l_{min}(i, j)}{l_{max}(i, j) - l_{min}(i, j)} \right)^{1/\gamma_L}. \quad (4.13)$$

$\gamma_L$  は提案手法の明度強調パラメータである.  $\gamma_L$  が 1 より大きい場合に明度強調として働き,  $\mathbf{Y}'(i, j)$  は  $\mathbf{X}(i, j)$  と  $\mathbf{O}_{max}(i, j)$  の間の値をとる.  $l_{max}(i, j) - l_{min}(i, j)$  が 0 の場合は 0.001 に置き換えることとする. また,  $l(i, j)$  と  $l_{min}(i, j)$  が同じ値の場合は明度強調が行われないため, この場合は  $l(i, j) - l_{min}(i, j)$  を 0.001 とする.

#### 4.2.2 色相による彩度強調スイッチング

食べ物の色は, その多くが暖色系であるという特徴がある. 肉類の赤や乳製品の黄を中心に, 穀物類など様々な食品が暖色系に分類され, 青や紫の食べ物は少ない. 寒色系の色は食欲減衰にも繋がるため, 食べ物画像において, 食べ物以外の領域は彩度強調の必要が無い<sup>41</sup>. 提案手法では食べ物の領域を色相で判断し, 食べ物の色相のみを彩度強調する.

RGB色空間における色相  $H(i, j)$  の求め方を以下に示す.

$$H(i, j) = \begin{cases} \frac{\pi}{3}(b - g) & \text{if } I_{max}(i, j) = X_r(i, j) \\ \frac{\pi}{3}(2 + r - b) & \text{if } I_{max}(i, j) = X_g(i, j) \\ \frac{\pi}{3}(4 + g - r) & \text{if } I_{max}(i, j) = X_b(i, j) \end{cases}, \quad (4.14)$$

$$r = \frac{I_{max}(i, j) - X_r(i, j)}{I_{max}(i, j) - I_{min}(i, j)}, \quad (4.15)$$

$$g = \frac{I_{max}(i, j) - X_g(i, j)}{I_{max}(i, j) - I_{min}(i, j)}, \quad (4.16)$$

$$b = \frac{I_{max}(i, j) - X_b(i, j)}{I_{max}(i, j) - I_{min}(i, j)}. \quad (4.17)$$

ただし,  $H < 0$  の場合は,  $H$  の値に  $2\pi$  加える. HSI色空間の  $H$  と同様の求め方で色相は求められる<sup>51</sup>.  $H(i, j)$  はラジアン単位で出力されるため, 度数変換したものを  $H'(i, j)$  とする.

色相による彩度強調スイッチングは以下の式によって行われる.

$$F = \begin{cases} 1 & \text{if } H'(i, j) \in \text{foodcolor} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.18)$$

暖色系を中心に, 緑までを含む色相を食べ物の色相とし,  $H'(i, j)$  が食べ物の色相である場合は  $F = 1$  となり, 彩度強調を行う. 食べ物以外の色相の場合は  $F = 0$  となるため, 彩度強調は行われない.

#### 4.2.3 食べ物の彩度を考慮した彩度変換

前節の RGB色空間での彩度強調手法を利用して彩度強調を行う. 提案手法での彩度強調法を以下に示す.

$$\hat{\mathbf{Y}}(i, j) = D_{\gamma_S}(i, j)(\mathbf{O}'(i, j) - \mathbf{P}'(i, j)) + \mathbf{P}'(i, j), \quad (4.19)$$

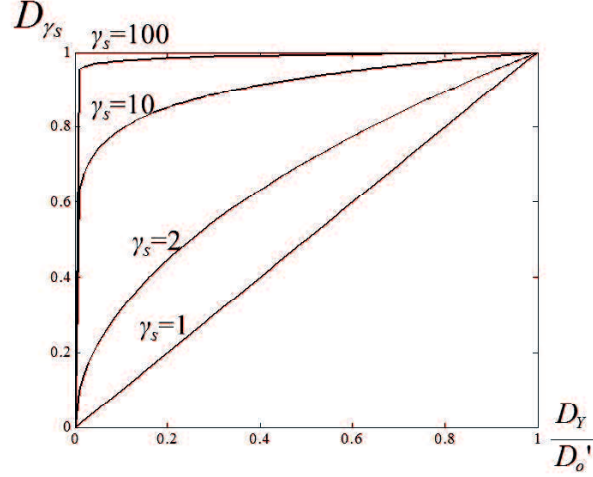
$$D_{\gamma_S}(i, j) = (D_Y(i, j)/D'_O(i, j))^{1/\gamma_S}, \quad (4.20)$$

$$D'_O(i, j) = \|\mathbf{O}'(i, j) - \mathbf{P}'(i, j)\|, \quad (4.21)$$

$$D_Y(i, j) = \|\mathbf{Y}'(i, j) - \mathbf{P}(i, j)\|. \quad (4.22)$$

$\mathbf{O}'(i, j)$ ,  $\mathbf{P}'(i, j)$  はそれぞれ, 明度変換後の最大彩度点と無彩色点を表す. それぞれの点は図 4.2(b) に示す場所に位置する.

提案手法では, 第3章の手法において彩度強調の基準点となっていた Naik らの手法による出力点  $\mathbf{G}(i, j)$  の代わりに, 前節で求めた明度変換後の点  $\mathbf{Y}'(i, j)$  を基準点と

図 4.4:  $D_{\gamma_S}$  と  $\gamma_S$  の関係.

して彩度強調を行う.  $\gamma_L$  は 1 以上であるため, 出力画素  $\hat{Y}(i, j)$  は  $Y'(i, j)$  と  $O'(i, j)$  の間の値をとり, 彩度低下が起こることはない.  $\gamma_S$  と  $D_{\gamma_S}$  の関係を図 4.4 に示す.  $\gamma_S$  が 1 のときは彩度強調が行われず  $\hat{Y}(i, j)$  が出力される.  $\gamma_S \rightarrow \infty$  のとき  $O'(i, j)$  が出力され,  $\gamma_S$  の値が大きいほど  $D_{\gamma_S}$  は大きな値をとりやすくなっていることがわかる.

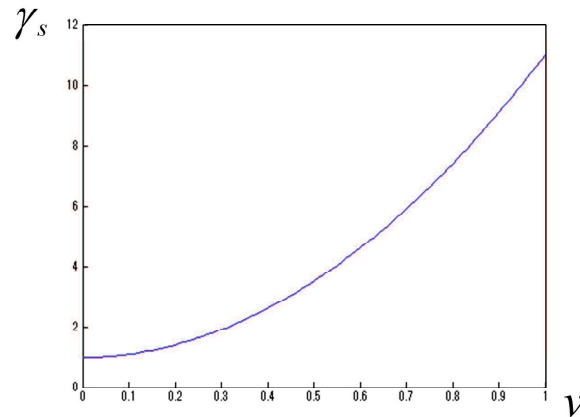
食器や米の白い領域など, 無彩色に見える画素が彩度 0 の完全な無彩色であるとは限らない. 色相と, 微小ながら彩度を持つため, 彩度強調を行うことで色みが視認できるようになり, 不自然な画像となることがある. 食べ物画像を彩度強調することを考え, 低彩度の彩度強調を抑制する必要がある.

低彩度の画素を彩度強調する  $\gamma_S$  が小さくなるように  $\gamma_S$  の値を設定することで, 低彩度画素の彩度強調を抑制することができる.  $\gamma_S(i, j)$  の計算式を以下に示す.

$$\gamma_S(i, j) = \alpha S^2 + 1, \quad (4.23)$$

$$S = \| \mathbf{X}(i, j) - \mathbf{P}_{in}(i, j) \|. \quad (4.24)$$

$S$  は  $\mathbf{X}(i, j)$  の彩度である.  $\alpha = 10$  の場合の式 (4.23) のグラフを図 4.5 に示す. 彩度強調の必要のない低彩度では  $\gamma_S(i, j)$  が 1 に近づき, 彩度が高くなるにつれて  $\gamma_S(i, j)$  の値も大きくなる.  $\gamma_S(i, j)$  が無限大に近づいた場合の出力画素値は最大彩度に近づくことになり, 色域を超えることはない.

図 4.5: 提案手法の  $\gamma_s$ .

## 4.3 実験

### 4.3.1 実験条件

様々な食べ物画像を用いて実験を行った。使用した画像を図 4.6 に示す。第 3 章の手法で用いる  $\gamma$  は 2 とした。提案手法のパラメータは  $\gamma_L = 1.5, 2, \alpha = 2, 5, 10$  とし、画像ごとに適切な値を用いた。食べ物の色相として知られる暖色系を中心に、野菜等の緑系を加えた色相を食べ物の色相として、 $H' < 100, 320 < H'$  で実験を行った。

### 4.3.2 定量評価

各手法の明度及び彩度の平均値を表 4.1, 表 4.2 に示す。全ての領域において、原画像と比較して提案手法の明度が大きくなっていることが分かる。彩度平均では、食べ物以外の領域では彩度が変化しておらず、食べ物の領域のみに彩度強調を行っていることがわかる。提案手法では全ての画像において、明度強調及び領域を限定した彩度強調が行われている結果となった。

各手法の色相毎の彩度の変化を図 4.8 に示す。0 度が赤であり、黄、緑、青と角度により色相が変化する。また、中央から画素までの距離が彩度を表している。原画像と比較して、彩度強調手法及び提案手法の彩度が大きくなっていることがわかる。提案手法で食べ物以外の領域と判断した  $H' < 100, 320 < H'$  において、その彩度は原画像と同じ彩度であり、色相によるスイッチング処理の効果が現れている。

提案手法の計算速度を表 4.3 に示す。各画像サイズは表 4.3 の原画像の下に示す通りである。CPU には Intel Core i7-3770@3.40GHz を用いた。また、プログラムは

表 4.1: 明度平均

		原画像	彩度強調	提案手法
原画像 1	全体の明度	0.3888	0.3888	0.4764
	その他明度	0.3855	0.3856	0.4800
	暖色明度	0.3993	0.3984	0.4644
原画像 2	全体の明度	0.4574	0.4574	0.5950
	その他明度	0.7536	0.7537	0.8460
	暖色明度	0.4023	0.4023	0.5481
原画像 3	全体の明度	0.4440	0.4440	0.6162
	その他明度	0.3775	0.3773	0.5998
	暖色明度	0.5067	0.5073	0.6322
原画像 4	全体の明度	0.4029	0.4030	0.5474
	その他明度	0.3330	0.3339	0.4765
	暖色明度	0.4946	0.4886	0.6326
原画像 5	全体の明度	0.5099	0.5099	0.6422
	その他明度	0.6682	0.6689	0.7791
	暖色明度	0.4758	0.4757	0.6126

MATLAB で記述した。画素数によって計算時間は変動するが、いずれの画像でも実時間内に処理されていることがわかる。

### 4.3.3 主観評価

図 4.9 に、低彩度の彩度強調を抑制した実験結果を示す。第 3 章の手法は  $\gamma = 4$  となっている。全ての画素が同じパラメータで彩度強調されるため、白い食器の領域が過度に彩度強調され不自然な結果となっている。図 4.9(b) は提案手法の彩度強調のみを、 $\alpha = 10$  として行った結果である。食器の領域の彩度強調が抑えられ、自然な強調結果となっている。

食べ物が含まれる色相を考慮した彩度強調の実験結果を図 4.10 に示す。全ての画素に対して提案手法を用いて彩度強調を行ったものが図 4.10(a) である。皿の柄の青が鮮やかになっている。図 4.10(b) の色相を考慮した実験結果では、青は食べ物が含まれる色相ではないため彩度強調が行われておらず、図 4.10(a) と比較して自然な結果となっている。提案手法の処理範囲を図 4.11 に示す。白い領域が食べ物と判断され、彩度強調が行われている。食べ物の領域が白になっていることが分かる。

図 4.12 に提案手法の実験結果を示す。原画像 1 に対する実験結果を図 4.12(a), 4.12(b) に示す。図 4.12(a) では食器部分の青が強調され、食器の色が変化してしまっている。提案手法である図 4.12(b) では、食器部分の彩度強調は行われず、自然な強調結果と

表 4.2: 彩度平均

		原画像	彩度強調	提案手法
原画像 1	全体の彩度	0.1721	0.2699	0.1932
	その他彩度	0.1393	0.2453	0.1394
	暖色彩度	0.2758	0.3472	0.3637
原画像 2	全体の彩度	0.1627	0.2563	0.2735
	その他彩度	0.0533	0.1283	0.0533
	暖色彩度	0.1831	0.2801	0.3145
原画像 3	全体の彩度	0.0408	0.1055	0.0581
	その他彩度	0.0155	0.0860	0.0156
	暖色彩度	0.0647	0.1237	0.0983
原画像 4	全体の彩度	0.1013	0.1966	0.1273
	その他彩度	0.1039	0.1831	0.1038
	暖色彩度	0.0979	0.2121	0.1565
原画像 5	全体の彩度	0.1526	0.2610	0.2406
	その他彩度	0.0414	0.1090	0.0414
	暖色彩度	0.1766	0.2937	0.2835

表 4.3: 計算速度 (sec)

	原画像 1 320 × 214	原画像 2 320 × 240	原画像 3 320 × 214	原画像 4 180 × 320	原画像 5 320 × 240
提案手法	0.39	0.46	0.42	0.34	0.45

なった。

原画像 2 に対する実験結果を図 4.12(c), 4.12(d) に示す。第 3 章の手法では食べ物  
の彩度は高くなっているが、食器の彩度も高くなり不自然な強調結果となった。図 4.12(d)  
の提案手法の結果では、食器の色が原画像に近い色となっている。原画像 2 は皿の領  
域が橙色であるため色相によるスイッチングができないが、低彩度領域であるため彩  
度強調を抑えることができている。

原画像 3 に対する実験結果を図 4.12(e), 4.12(f) に示す。図 4.12(e) では彩度強調に  
よって背景が緑になっている。また食べ物領域の彩度強調の影響は少ない。これに  
対して提案手法では背景の彩度強調が抑えられており、食べ物領域も原画像と比較  
して美味しそうに見える画像となっている。

原画像 4 に対する実験結果を図 4.12(g), 4.12(h) に示す。第 3 章の手法ではイカの色  
が黄みを帯びている。また、皿の彩度が強調されており不自然な強調結果となった。  
図 4.12(h) ではイカと皿の彩度強調が抑えられ、図 4.12(g) と比較して自然な強調結果  
となっている。

原画像5に対する実験結果を図4.12(i),4.12(j)に示す。図4.12(i)では食器の色が変化しており不自然であるが、図4.12(j)では彩度強調が抑えられ自然な結果となっている。ブルーベリーの部分は食べ物領域だが、青系の色相であるためスイッチングにより彩度強調が行われていない。

原画像6に対する実験結果を図4.12(k),4.12(l)に示す。図4.12(k)と比較して、提案手法では焼きそばの色の赤みが強くなっている。元の明度が小さい食べ物に関しては、明度強調を加えることで必要以上に彩度強調が行われてしまうことがわかった。

提案手法のパラメータによる比較結果を図4.18に示す。図4.18(a),4.18(b)は提案手法の彩度強調のみの結果、図4.18(c),4.18(d)は明度強調のみの結果、図4.18(e)から4.18(h)は彩度強調と明度強調をそれぞれ組み合わせた結果となっている。彩度強調だけでは見た目の変化が少ないことが分かる。明度強調のみの場合、明度が高くなるため画像全体が明るくなる。明度強調と彩度強調を組み合わせると、彩度強調の効果が高くなる。RGB色空間では中明度の最大彩度が高いため、明度強調によって画素が中明度領域に移動すると、彩度強調のみの場合と比較して高彩度の領域に彩度変換されやすくなるためだと考えられる。

#### 4.4 結言

本章では、食べ物画像のための、RGB色空間で色相を保存しながら適応的に彩度および明度を強調する手法を提案し、実験によりその有効性を確認した。彩度および明度はパラメータにより適応的に変化させることができ、変化後の値が色域内に存在する保証がされている。本手法をスマートフォン等の携帯端末上のアプリケーションソフトウェアとして実装することで、撮影された画像に強調処理を施すことができるようになる。



(a)



(b)



(c)



(d)



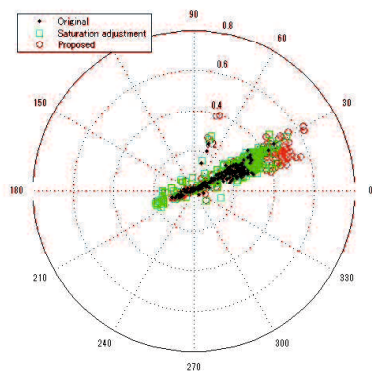
(e)



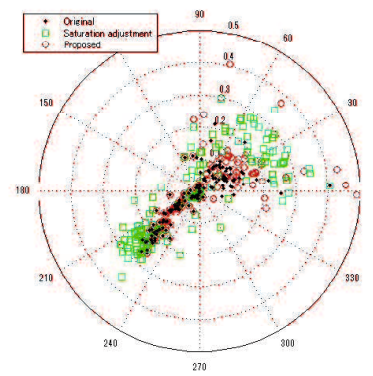
(f)

図 4.6: 使用画像: (a) 原画像 1, (b) 原画像 2, (c) 原画像 3, (d) 原画像 4, (e) 原画像 5, (f) 原画像 6.

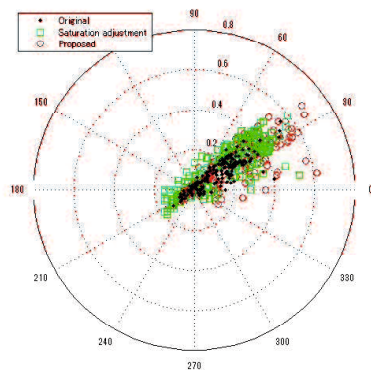




(a)



(b)



(c)

図 4.7: 色相分布. (a) 原画像 2, (b) 原画像 3, (c) 原画像 5

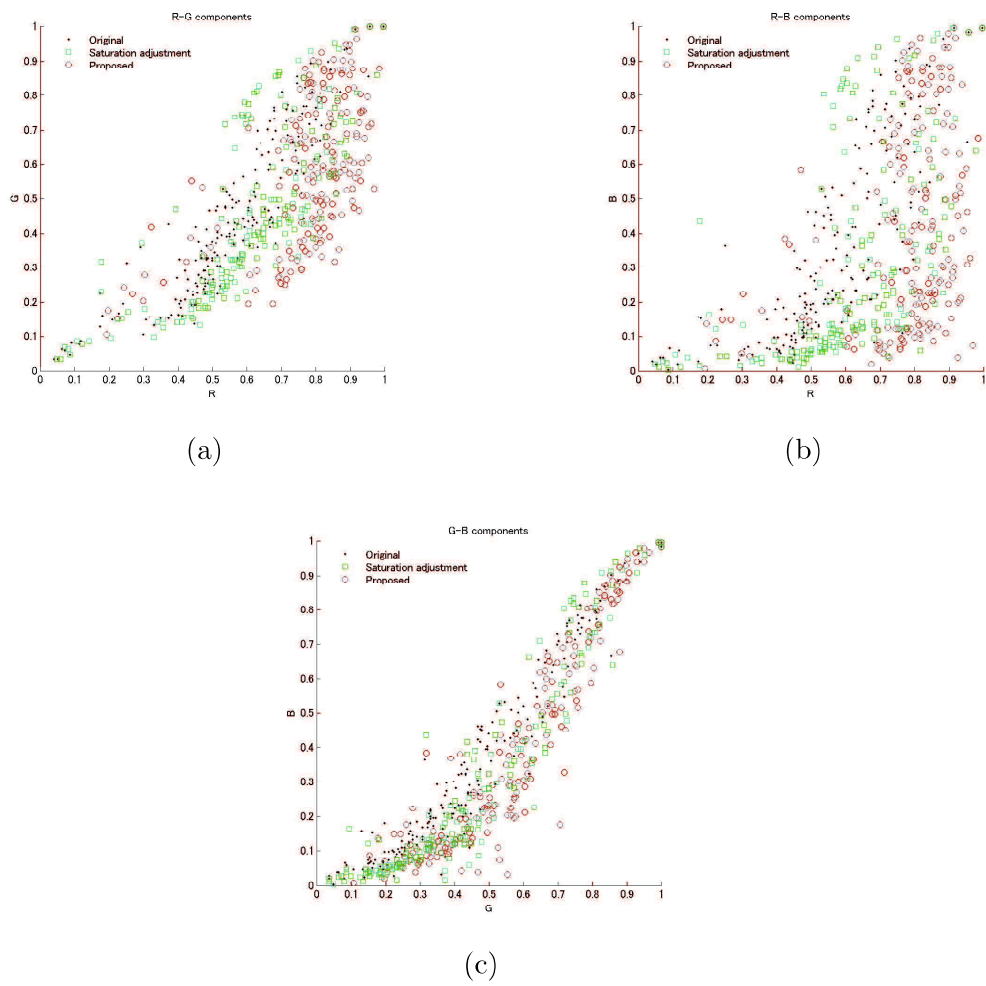


図 4.8: RGB 色空間での分布. (a)R-G 平面, (b)R-B 平面, (c)G-B 平面

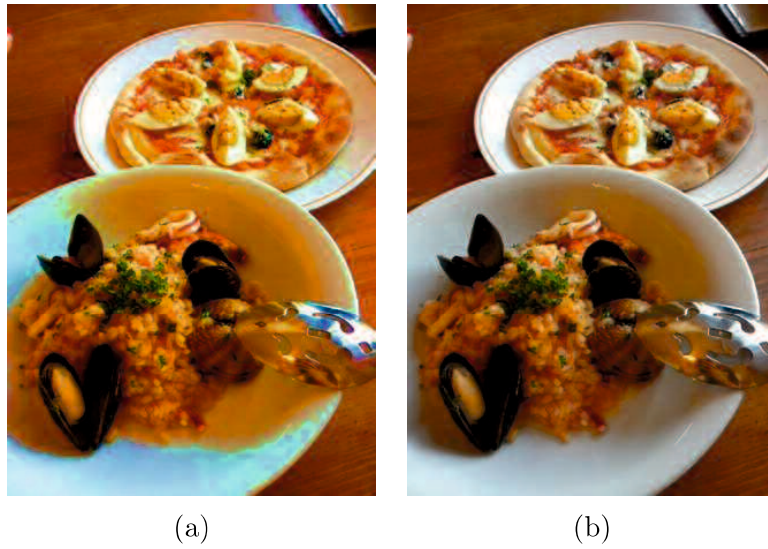


図 4.9: 低彩度抑制の実験結果: (a) 第3章の手法, (b) 提案手法による彩度強調.



図 4.10: 色相を考慮した彩度強調結果: (a) 色相考慮なしの出力結果, (c) 色相を考慮した彩度強調.



図 4.11: 図 4.6(d) に対する色相スイッチング.



図 4.12: 実験結果: (a) 第3章の手法 (原画像1,  $\gamma = 2$ ), (b) 提案手法 (原画像1,  $\gamma_L = 2, \alpha = 1.5$ ).

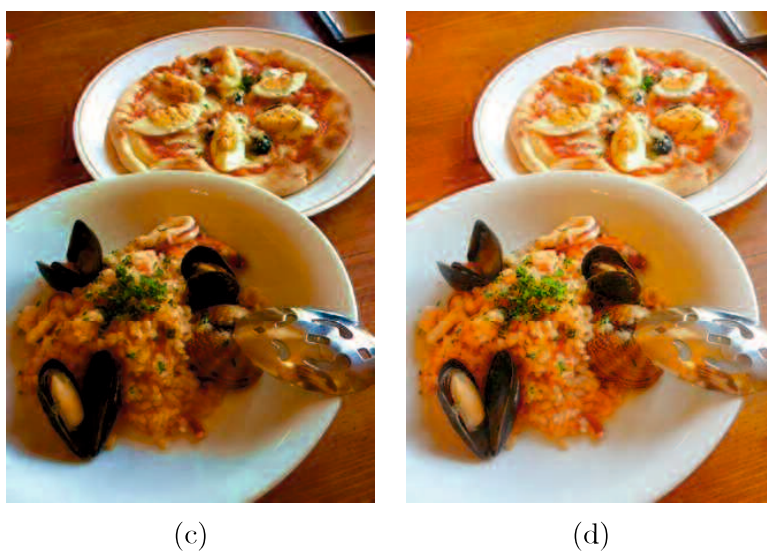


図 4.13: 実験結果: (c) 第3章の手法 (原画像2,  $\gamma = 2$ ), (d) 提案手法 (原画像2,  $\gamma_L = 2, \alpha = 10$ ).



図 4.14: 実験結果: (e) 第3章の手法 (原画像3,  $\gamma = 2$ ), (f) 提案手法 (原画像3,  $\gamma_L = 2, \alpha = 10$ ).

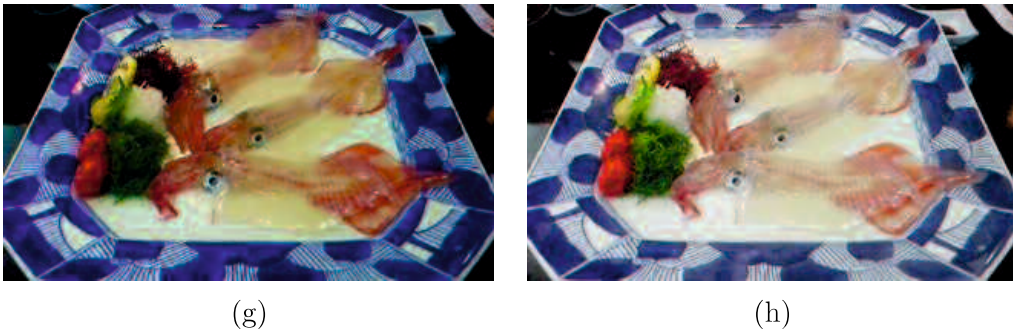


図 4.15: 実験結果: (g) 第3章の手法 (原画像4,  $\gamma = 2$ ), (h) 提案手法 (原画像4,  $\gamma_L = 2, \alpha = 10$ ).



図 4.16: 実験結果: (i) 第3章の手法 (原画像5,  $\gamma = 2$ ), (j) 提案手法 (原画像5,  $\gamma_L = 2, \alpha = 5$ ).



図 4.17: 実験結果: (k) 第3章の手法 (原画像6,  $\gamma = 2$ ), (l) 提案手法 (原画像6,  $\gamma_L = 1.5, \alpha = 10$ ).



図 4.18: 提案手法のパラメータ比較 (原画像3) : (a) 彩度調整のみ ( $\alpha = 5$ ), (b) 彩度調整のみ ( $\alpha = 10$ ), (c) 明度調整のみ ( $\gamma_L = 2$ ), (d) 明度調整のみ ( $\gamma_L = 4$ ), (e) 提案手法 ( $\gamma_L = 2, \alpha = 5$ ), (f) 提案手法 ( $\gamma_L = 4, \alpha = 5$ ), (g) 提案手法 ( $\gamma_L = 2, \alpha = 10$ ), (h) 提案手法 ( $\gamma_L = 4, \alpha = 10$ ),

## 第5章 結論

本論文では、RGB色空間における明度および彩度の適応的変換手法について述べた。以下に、各章で得られた結果について述べる。

第2章では、まず、RGB色空間とその性質について説明した。特に、RGB色空間での等色相条件について詳述した。また、RGB色空間の等色相条件を考慮した変換手法として、Naikら、村平ら、井上らの手法について詳しく説明を行った。Naikらの手法はある直線を用意し、等色相等明度直線との交点を求めることで、明度変換後の画素の色相保存を可能にしたが、彩度が低下してしまう問題があった。村平らの手法はNaikらの手法と異なる直線を用いることで、明度変換後の彩度低下を防いだ。井上らの手法は彩度を最大化する手法である。Naikらの手法と村平らの手法は、明度変換を行うことが前提であるため、明度変換を行わない場合は交点を求めることができず、彩度のみの変更ができない。また、直線の交点を求める手法であるため、出力結果は一意に定まってしまう例を示した。井上らの手法は明度変換を行わずに彩度のみを求めることができるが、常に最大彩度に変換されるため、任意の彩度を選択することはできないことを述べた。

第3章では、RGB色空間で色相を保存しながら適応的に彩度を強調する手法を提案し、実験によりその有効性を確認した。適応的彩度強調法はパラメータによって任意の彩度を得ることができ、Naikら、村平ら、井上らの手法も包括した手法になっている。また、明度変換を行わずに彩度のみを強調することも可能である。

第4章では、食べ物画像のための、RGB色空間で色相を保存しながら適応的に彩度および明度を強調する手法を提案し、実験によりその有効性を確認した。彩度および明度はパラメータにより適応的に変化させることができ、変化後の値が色域内に存在する保証がされている。

以上のように、RGB色空間における明度および彩度の適応的変換アルゴリズム及びその適用法について述べた。RGB色空間における適応的な彩度強調（第3章）では、他の手法を包含した彩度調整手法を確立させた。食べ物画像の明度及び彩度の強調法（第4章）では、彩度のみならず明度も変換する手法を考案した。また、パラメータの設定方法を改良し、食べ物画像に適した画像強調をRGB色空間のみで行う方法を確立させた。



## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり，終始懇切丁寧な御指導を賜りました山口大学大学院創成科学研究科末竹規哲教授に深謝致します。また，熱心な御指導を通して研究者への道を示して下さいました山口大学大学院創成科学研究科内野英治教授に厚く御礼申し上げます。また，本研究を進めるにあたり多くの御意見，ご協力を賜りました山口県立大学国際文化学部文化創造学科准教授畔津忠博先生に厚く御礼申し上げます。さらに，本論文の副査をお引き受け下さいました，山口大学大学院創成科学研究科内野英治教授，野崎浩二教授，脇田浩二教授，山口大学教育学部情報教育講座葛崎偉教授に心より感謝申し上げます。

また，多くの励ましを頂きました山口大学大学院創成科学研究科システム・画像情報科学研究室の方々に謝意を表します。最後に，これまで支えて下さった両親と多くの友人に深い感謝を捧げます。

## 参考文献

- [1] 田口亮, “カラー画像・映像の復元・強調に関する研究の現状”, IEICE Fundamentals Review, Vol. 3, No.2, pp.54–64, 2009.
- [2] J. H. Han, S. Yang, and B. U. Lee, “A novel 3-D color histogram equalization method with uniform 1-D gray scale histogram”, IEEE Trans. Image Process., Vol. 20, No.2, pp.506–512, 2011.
- [3] 田中豪, “明度及び色相の影響を考慮した彩度強調法”, 信学技報, Vol. SIS2012-32, pp.19–22, 2012.
- [4] S. Morillas, V. Gregori, and A. Sapena, “Adaptive marginal median filter for colour images”, Sensors, Vol. 11, No.3, pp.3205–3213, 2011.
- [5] E. Eisemann and F. Durand, “Flash photography enhancement via intrinsic re-lighting”, ACM Trans. Graph., Vol. 23, No.3, pp.673–678, 2004.
- [6] I. Pitas and P. Kiniklis, “Multichannel techniques in color image enhancement and modeling”, IEEE Trans. Image Process., Vol. 5, No.1, pp.168–171, 1996.
- [7] 小寺 宏暉, “知的画像処理, ” 日本印刷学会誌, Vol. 42, No. 1, pp. 19–27, 2005.
- [8] Jun-yan Huo, Yi-lin Chang, Jing Wang, Xiao-xia Wei, “Robust automatic white balance algorithm using gray color points in images,” IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 52, No. 2, 2006.
- [9] Xiong, Weihua, Funt, Brian, Shi, Lilong, Kim, Sung-Su, Kang, Byoung-Ho, Lee, Sung-Duk; Kim, Chang-Yeong, “Automatic White Balancing via Gray Surface Identification,” Color and Imaging Conference, Vol. 2007, No. 1, pp. 143–146(4), 2007.
- [10] Glotzbach, John W., Ronald W. Schafer, and Klaus Illgner. “A method of color filter array interpolation with alias cancellation properties.” Image Processing, 2001. Proceedings. 2001 International Conference on. Vol. 1. IEEE, 2001, pp. 141-144.

- [11] Alleysson, David, Sabine Susstrunk, and Jeanny Herault. "Color demosaicing by estimating luminance and opponent chromatic signals in the Fourier domain." Color and Imaging Conference. Vol. 2002. No. 1. Society for Imaging Science and Technology, 2002, pp. 331-336.
- [12] Lu, Wenmiao, and Yap-Peng Tan. "Color filter array demosaicking: new method and performance measures." IEEE transactions on image processing 12.10 (2003): pp. 1194-1210.
- [13] Bose, Isita, et al. "Fuzzy Approach to Detect and Reduce Impulse Noise in RGB Color Image." International Journal Of Scientific And Research Publications, ISSN 2250 3153.
- [14] Lezoray, Olivier, and Abderrahim Elmoataz. "Nonlocal and multivariate mathematical morphology." 2012 19th IEEE International Conference on Image Processing. IEEE, 2012, pp. 129-132.
- [15] Keren, Daniel, and Margarita Osadchy. "Restoring subsampled color images." Machine Vision and applications 11.4 (1999): pp. 197-202.
- [16] 篠田博之, 藤枝一郎, 色彩工学入門, 森北出版, 2007.
- [17] 嶋野法之, 色彩工学の基礎と応用, コロナ社, 2010.
- [18] 奥富正敏, デジタル画像処理, 画像情報教育振興協会, 2015.
- [19] 落合 可江, "4色で再現可能な広演色印刷," 日本印刷学会誌, Vol. 44, No. 2, pp. 83—90, 2007.
- [20] 三品 博達, "印刷における動向," 映像情報メディア学会誌, Vol. 55, No. 10, pp. 1238—1242, 2001.
- [21] 洪 博哲, "カラーマネージメントの動向," 映像情報メディア学会誌, Vol. 52, No. 6, pp. 806—811, 1998.
- [22] 陳 鴻興, Fumie YAMADA, 齊藤了一, 小寺宏暉, "画像の明度情報に適応した3次元色域マッピング法," 日本画像学会誌, Vol. 40, No. 1, pp. 30—39, 2001.
- [23] 下平美文, 大橋剛介, "広色域ディスプレイとその展望," 映像情報メディア学会誌, Vol. 64. No. 7, pp. 959—966, 2010.
- [24] 奥田 正浩, "高ダイナミックレンジ画像処理," 電子情報通信学会誌, Vol.93, No.2, pp. 139—144, 2010.

- [25] N. Bassiou and C. Kotropoulos, “Color image histogram equalization by absolute back off”, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 107, No.1, pp.108–122, 2007.
- [26] 村平宏太, 田口亮, “ヒストグラム均等化に基づくカラー画像強調法”, *信学論*, Vol. J95-A, No.12, pp.817–821, 2012
- [27] C. L. Chien and D. C. Tseng, “Color image enhancement with exact HSI color Model,” *Int. J. Innovative Computing, Information and Control*, Vol.7, No.12, pp.6691–6710, Dec. 2011.
- [28] Jerrold Levine, Lothar Spillmann, Ernst Wolf, “Saturation enhancement in colored hermann grids varying only in chroma,” *Vision Research*, Vol. 20, No. 4, pp. 307–313, 1980.
- [29] Ju-Yeon You, Sung-Il Chien, “Saturation enhancement of blue sky for increasing preference of scenery images,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.54, No.2, pp.762–768, 2008.
- [30] 木村誠聡, 田口 亮, “強調度合が可変な彩度ヒストグラム平坦化によるカラー画像の強調,” *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J92-A, No.2, pp.131–134, 2009.
- [31] 塚田 正人, 鈴木 哲明, 井上 晃, “デジタル画像処理による自動高画質化技術,” *日本画像学会誌*, Vol. 43, No. 2, pp. 90–97, 2004.
- [32] 重村 進也, 田口 亮, “ $YC_bC_r$  色空間における画像の彩度強調,” *電子情報通信学会技術研究報告*, Vol. SIS2005-59, pp. 1–6, 2006.
- [33] Mila Nikolova, Gabriele Steidl, “Fast Hue and Range Preserving Histogram Specification: Theory and New Algorithms for Color Image Enhancement,” *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 23, No. 9, 2014.
- [34] S. K. Naik and C. A. Murthy, “Hue-preserving color image enhancement without gamut problem”, *IEEE Trans. Image Process.*, Vol. 12, No.12, pp.1591–1598, 2003
- [35] 村平宏太, 田口亮, “色相を保存した RGB 色空間におけるカラー画像処理形態の一提案”, *信学論*, Vol. J96-A, No.5, pp.264–272, 2013
- [36] 井上光平, 原健二, 浦浜喜一, “明度ヒストグラム均等化と等色相面における彩度最大化によるカラー画像強調”, *映像情報メディア学会 2013 年年次大会講演予稿集*, Vol. 2013, pp.1-7, 2013

- [37] S. Yang and B. Lee, “Hue-preserving gamut mapping with high saturation”, *Electron. Lett.*, Vol. 49, No.19, pp.1221–1222, 2013.
- [38] 齋藤 利也, “カラーカメラの色再現,” *テレビジョン*, Vol. 23, No. 1, pp. 2–12, 1969.
- [39] 梅田 和昇, “画像処理の基礎,” *精密工学会誌*, Vol. 72, No. 5, pp. 583–586, 2006.
- [40] ジーイー企画センター, *色彩百科ビギナーズ*, ジーイー企画センター, 2005.
- [41] 中川 裕子, 仲尾 玲子, “色彩があらわす食品のおいしさへの影響：天然色素を添加した食品の色調による嗜好性評価,” *山梨学院短期大学研究紀要*, Vol.30, pp.1–6, 2010.
- [42] S. Gunasekaran, “Computer vision technology for food quality assurance,” *Trends in Food Science and Technology*, Vo.7, No. 8, pp. 245–256, Aug. 1996.
- [43] D. Mery and F. Pedreschi, “Segmentation of colour food images using a robust algorithm,” *Journal of Food Engineering*, Vol. 66, no. 3, pp. 353–360, Feb. 2005.
- [44] T. Joutou, K. Yanai, “A food image recognition system with Multiple Kernel Learning,” *2009 16th IEEE International Conference on Image Processing(ICIP)*, pp. 285–288, Nov. 2009.
- [45] 大田登, *色彩工学*, 東京電機大学出版局, 2007.
- [46] 日本色彩学会編, *色彩用語辞典*, 東京大学出版会, 2007.
- [47] 谷口慶治編著, 張 小忙著, *デジタル色彩工学*, 共立出版, 2012.
- [48] 高木幹雄, 下田陽久 監修, *画像解析ハンドブック*, 東京大学出版会, 2004
- [49] R. C. Gonzalez and R. E.Woods, *Digital Image Processing*, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [50] 李東瀛, 田口亮, “ポジネガ反転処理を併用した HSI 色空間での新しい処理形態”, *信学技報*, Vol. SIS2013-62, pp.37–42, 2014.
- [51] J.D. Foley and A.V. Dam, *Fundamentals of Interactive Computer Graphics*, pp.613–616, Addition–Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1983.