

色差を考慮した量的データ表現用 グラデーションの作成ツール

三末 和男^{1,a)}

概要: データ可視化において色は便利な表現要素であり、データの表現において重要な役目を果している。しかしながら、量的データを表現するための色が不適切に用いられている場面も数多く見られる。その要因のひとつとして、色差を考慮したグラデーション作成が簡単でないことが考えられる。本論文は、量的データを色で表現するためのグラデーション作成を支援するために開発されたツールについて説明するものである。そのツールは、色空間内で指定されたパス（直線や曲線）上の色を、色差式に従って等間隔に選び出すことで色差が均等なグラデーションを生成する。さらに生成したグラデーションの特徴を視覚的に捉えるためのチャートも提供する。

1. はじめに

データ可視化において色は便利な表現要素であり、データの表現において重要な役目を果している。色がデータ可視化において多用される理由のひとつは他の表現との併用のしやすさにあろう。データを表すことのできる視覚変数（視覚属性）には、色の他に、大きさ、模様、向き、形状などがある [1] が、色はそれら多くの視覚変数と組み合わせることができる。そのように多用される色であるが、不適切に用いられることも多い。

その要因としては、視覚的表現の作成者の無頓着に帰するところも多分にあると思われるが、量的データの表現に関しては、色差を考慮したグラデーション^{*1}作成が簡単でないことも大きな要因として考えられる。身近に使われる RGB 色空間や HSB 色空間内のユークリッド距離と人間の感じる色差には乖離がある。そのため、RGB 色空間や HSB 色空間内で、2 色（グラデーションの両端点）をつなぐ直線分を等間隔に分割しても、量的データの表現に適した、色差が等間隔のグラデーションを作成することはできない。そのような問題の解決策の一つが CIELAB 色空間のような均等色空間の利用であるが、CIELAB 色空間でグラデーションを作ろうとすると、別の問題が生じる。ひとつは、CIELAB 色空間が凸ではないため 2 色をつなぐ直線分がいつでも引けるわけではないということ、もうひとつ

は、2 色をつなぐ直線分にそれらとは異なる色相が混じるということである。さらに別の難しさもある。CIELAB 色空間で定義される色差式 CIE76 やその後拡張された CIE94 を改善するためにつくられた CIEDE2000 色差式は、特定の色空間内のユークリッド距離として定義されているものではない。そのため、CIEDE2000 を利用するには、「2 点を直線分でつないで等間隔に分割する」という、グラデーションの作り方自体を見直す必要がある。

本研究は量的データの表現に有用なグラデーションの作成を支援することを目指している。本論文では、量的データを表現するためのグラデーション作成を支援するために開発したツールを紹介する。そのツールは、色空間内のパス（直線や曲線）上の色を指定された色差式に関して等間隔に選び出すことで色差が均等なグラデーションを生成する。さらに生成したグラデーションの特徴を視覚的に捉えるためのチャートも提供する。

2. 問題提起

2.1 色空間のユークリッド距離と人間の感じる色差の乖離

グラデーションのつくり方として、まず、2 色（両端点）をつなぐ直線分を等間隔に分割することで色を選択することを考える。図 1 は、0 から 10 の値の 11 段階を表すグラデーションの作成例である。RGB 色空間で簡単に作ろうとすると、図 1(a) のように青側では隣接する色の区別が難しいグラデーションができてしまう。RGB 色空間で色を等間隔に選んだとしても、人間の感じる色差とは乖離があるため、このようなグラデーションができてしまう。

¹ 筑波大学
University of Tsukuba

^{a)} misue@cs.tsukuba.ac.jp

^{*1} 量的データを表すための配色は「Color Ramp」と呼ばれるが、本論文では日本語に馴染んでいる「グラデーション」を用いた。



図 1 色空間によるグラデーションの違い

2.2 CIELAB 色空間のいびつさ

CIELAB 色空間など均等色空間はユークリッド距離が人間の感じる色差を近似しているため、CIELAB 色空間でグラデーションを作ることも一案である。しかしながら、CIELAB 色空間は表示可能な色*2が構成する空間が凸ではないため、空間内の 2 点をつなぐ直線分が空間内に存在するとは限らない。たとえば、図 1(a) のように白 (#FFFFFF) と青 (#0000FF) を直線でつなごうとすると、両端以外は表示可能な色空間の外に出てしまうため、そもそも色を選択することができない。直線でつなぐためには、端点のどちらかあるいは両方を空間の内部に向けて多少移動する必要がある。たとえば、グレー (#E0E0E0) と青 (#0000FF) であれば、それらをつなぐ直線は表示可能な色の空間内に収まる。図 1(b) は RGB 色空間でつくったグレー (#E0E0E0) から青 (#0000FF) へのグラデーションである。

図 1(c) は、CIELAB 色空間内でグレー (89.2, 0, 0) から青 (32.3, 79.2, -107.9) を等間隔に取って作成したグラデーションである。図 1(a) や (b) に比べると青側でも区別が容易になっている。その一方で、途中が紫がかったグラデーションになっている。RGB 色空間は加法混色を基本としていることから、2 色をつなぐ直線分上には元の 2 色の混色が現れるのに対して、CIELAB 色空間では、2 色をつなぐ直線分上に元の 2 色とは違う色合いが現れる可能性がある。グラデーションとしては図 1(c) のように色相が混ったものが使われることも多いが、グラデーションを設計する場合には、意図せずして混ざることが好ましくない。

2.3 CIEDE2000 の扱いにくさ

CIEDE2000 色差式は CIE76 やその後拡張された CIE94 を改善するためにつくられたもので、CIELAB 色空間内の 2 点を与えると、色差を返す関数として定義されている。

*2 たとえば、sRGB 色空間内にある色。見ることができる色はそれら以外にもあるが、ディスプレイ等による表示を前提とすると、sRGB 色空間内にある色を表示可能な色と考えることは現実的であろう。

このことは、CIE76 が CIELAB 色空間内のユークリッド距離として定義されていることに比べると、配色に係る色の計算を難しくしている。たとえば、二つの色と同じ色差の色を見つける、すなわち 2 点から等距離にある点を見つけるという問題が、CIE76 であれば、簡単な数式で解決できるが、CIEDE2000 ではそう簡単ではない。

3. 関連技術と関連研究

3.1 情報可視化における色の利用

視覚的表現によるデータの表現については、Bertin のパイオニア的な仕事がある [1], [2]。データ可視化の場面ではひとくくりに「色」として考えるのではなく、色相、彩度、明度に分けて議論する必要がある。Bertin は、名義データの表現には色相が、量的データの表現には明度（濃度）が使えるとしている。Ware も色相がラベル付け、すなわち名義データの表現に相当であると指摘し、有用な 12 色を推薦している [3]。しかしながら、用途を量的データの表現とすると、色の表現精度（視覚的表現から値を読み取る際の精度）は高いとは言えない [4]。

3.2 配色作成ツール

Brewer はデータをさらに細かく分類し、データの種類に応じた様々なグラデーションを設計している [5], [6]。さらに、オンラインで利用できる配色ツール ColorBrewer を提供している [7]。Brewer の配色は、離散的なデータを対象として、人手による設計に基いている。Bergman らは連続的なデータも含めた量的データを表現するためのグラデーションの特性を整理するとともに、PRAVDAColor と名付けられた配色ツールを紹介している [8]。双円錐の空間で表される HSL 色空間に基いて配色を対話的につくることできる。Hyun はグラデーションの作成において 2 色を非線形に補間することを提案している [9]。ただし、必ずしも色差に着目したものではない。Misue らは、色差に着目した配色の作成を支援するために均等色空間である CIELAB 色空間内で配色を作成するツールを提案している [10]。CIELAB 色空間内でグラデーションを作成するため、CIE76 色差式に基いて隣接する 2 色の色差は均等になる。ただし、端点の選び方によっては図 1(c) に示したようなグラデーションが生成される。Smart らはデザイナーによって設計されたグラデーションが色空間を曲線的に利用していることに着目し、デザイナーによるサンプルを収集して、機械学習手法により汎用的に利用可能にしたツールを開発した [11]。

本研究とは対象が異なるが、質的データを表現するための配色作成を支援する技術についても様々な研究が行なわれている [12], [13], [14]。

4. ツールの開発方針

量的データを表現するためのグラデーションの要件を以下のように設定した。

R1 隣接する2色の色差が均一

R2 グラデーションから順序が読み取れる

色から値が読み取れることが望ましいが、そのことについては高い精度が期待できないことが知られている [4]。また、色と値の対応付けについては、グラデーション毎に示す必要がある。これらのことから、上記の2項目が、量的データを表現するための必要最小限の要件であると考えた。

このような要件を満たすグラデーションを作成するために、色空間内での色探索の制約となる「カラーパス」を導入することにした。カラーパスとは、幾何学的には色空間内の連続した直線や曲線である。グラデーションを作成する際には、指定されたカラーパス上の色を選択する。たとえば、RGB色空間におけるグレー (#E0E0E0) と青 (#0000FF) をつなぐ直線分はカラーパスの例である。図1(b)に示したグラデーションは、そのようなカラーパスから選んだグラデーションと言える。また、図1(c)に示したグラデーションは、CIELAB色空間におけるグレー (89.2, 0, 0) と青 (32.3, 79.2, -107.9) をつなぐ直線分をカラーパスとして作成したものと言える。

カラーパスの導入には以下のような利点がある。

M1 グラデーションを作成する際の色探索空間を狭めることができる

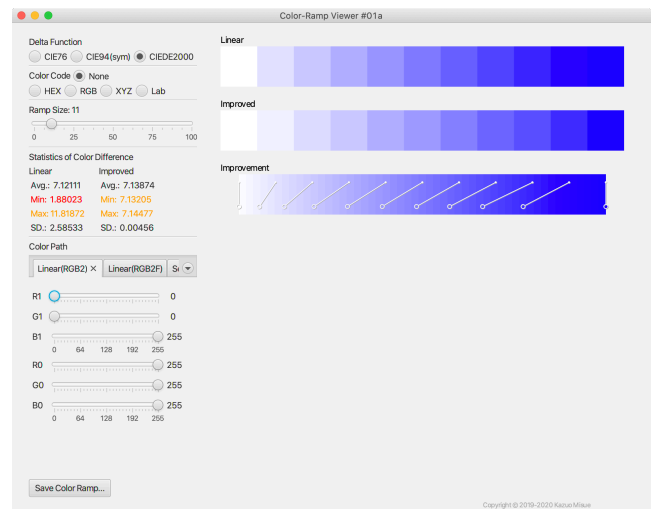
M2 カラーパスを適切に設定することで順序が読み取れるグラデーションを作成できる

M3 カラーパスを利用者に定義させることで美的な観点での設計を利用者に任せることができる

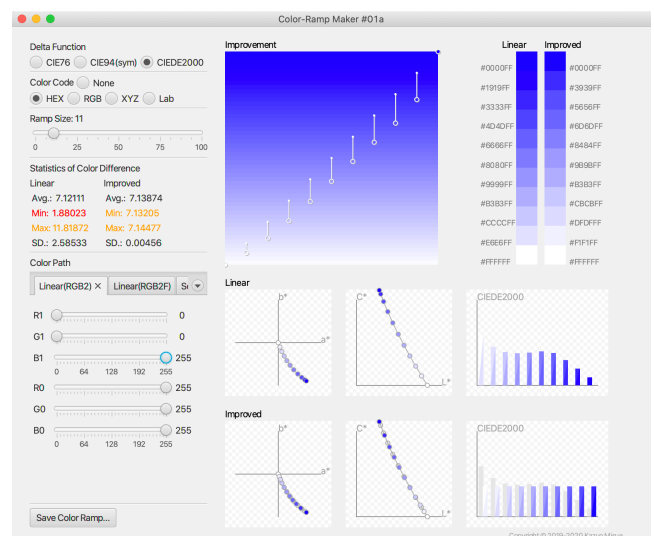
要件 R1 を満たすためには、適切な色差式に基いて色を選択する必要があるが、その空間のユークリッド距離として定義されていない色差式を利用する場合には、3次元空間内の探索が必要となる。M1 はその探索を効率化できるということを意味している。M2 は要件 R2 の責任をユーザに転嫁したと考えることもできる。これについては、UIでの支援を検討すべきであろう。M3 は上記の要件とは対応していない。しかしながら、データ可視化が普及するに連れ、独自性のあるグラデーションを作成したいという要望も多いと思われる。そのような状況で、カラーパスの指定により量的データ表現の要件を見たすグラデーションが作成できるということはそれなりの利点となると思われる。

5. 開発したツール

UIが異なる2種類のツールを開発した。図2は二つのツールの画面である。これらはグラデーション作成に関する機能は同じであるが、ユーザに提供する情報が異なる。



(a) UI1: 簡略版



(b) UI2: 詳細情報提示版

図2 開発したグラデーション作成ツール

5.1 ツールの機能

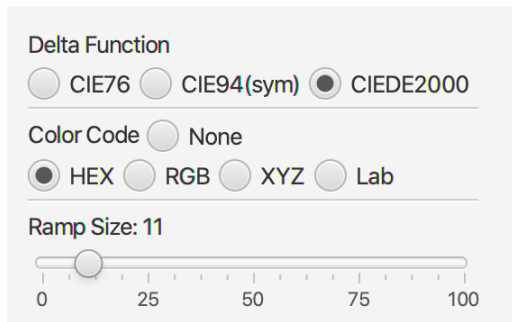
どちらのツールも画面の左側は同じである。この部分は、主にユーザからの入力を受け付ける、以下のようなUI部品で構成されている。

Delta Function CIE76、CIE94、CIEDE2000 から色差式を選択する。(図3(a)上)

Color Code グラデーションを構成する色の表現形式を、HEX (RGB16進)、RGB (10進)、XYZ、Lab (L*, a*, b*) から選択する。表示しない (None) も選択できる。(図3(a)中)

Ramp Size グラデーションを構成する色数を指定できる。(図3(a)下)

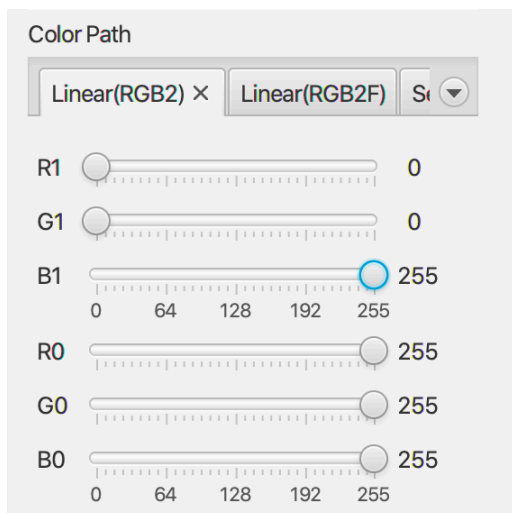
Statistics of Color Difference (出力) 作成したグラデーションで、隣接する2色の色差に関する統計量を表示する。カラーパス上で等間隔に選択した色に関するもの (Linear) と Delta Function で指定した色差が等間隔になるように選択した色に関するもの



(a) パラメータ選択用 UI

Statistics of Color Difference	
Linear	Improved
Avg.: 7.12111	Avg.: 7.13874
Min: 1.88023	Min: 7.13205
Max: 11.81872	Max: 7.14477
SD.: 2.58533	SD.: 0.00456

(b) 統計量出力ビュー (出力)



(c) カラーパス指定用 UI

図 3 ユーザ入出力用 UI

(Improved) が並置されており、見比べることができる。「Avg」、「Min」、「Max」、「SD.」はそれぞれ、色差の平均値、最小値、最大値、標準偏差である。最小値と最大値は値によって橙色や赤色で表示される。これは、区別の容易さを表したもので、黒であれば容易に区別できるが、橙色、さらには赤色は区別が難しいことを示している。(図 3(b))

Color Path グラデーションを作成するためのカラーパスを指定する。(図 3(c))

5.2 グラデーションの提示

簡略版では作成したグラデーションを図 4 のように提示する。この例は、RGB 色空間内で、白 (#FFFFFF) から青 (#0000FF) へのグラデーションを作成したもので、上から、(Linear) RGB 色空間で等間隔に選択したもの、

(Improved) 色差 (この場合は CIEDE2000) が等間隔になるように調整したもの、(Improvement) RGB 色空間における等間隔と色差による等間隔の対応を示している。「Improvement」の表示を見ることで、選択した色が全般的に白色の方に寄っていることが分る。

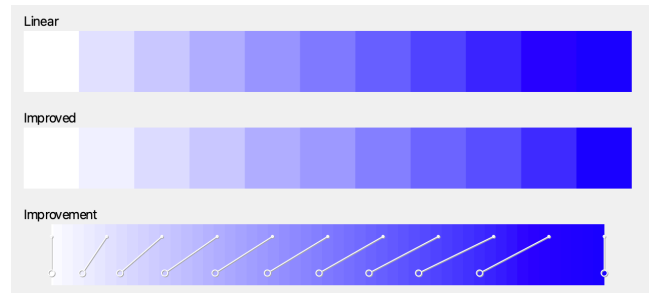


図 4 簡略版におけるグラデーションの提示

5.3 詳細情報を提供するチャート

詳細情報提示版は、簡略版と同等のグラデーション提示の他に、生成したグラデーションを構成する色に関する情報を提示するチャートを備えている。図 5 は、そのチャート群を示している。この例は、HSB 色空間内で、赤 (hsb(0, 1.0, 1.0)) から赤紫 (hsb(248, 1.0, 1.0)) へのグラデーションを生成した際のチャート群である。上段 (Linear) は、HSB 色空間内で色相を等間隔 (等角度) に選択した際の情報を、下段 (Improved) は、色差 (CIEDE2000) が等間隔になるように角度を調整したあとの情報を示している。チャートは 3 種類あり、左から、 a^*-b^* 平面上の散布図 (a^*-b^* チャート)、 L^*-C^* 平面上の散布図 (L^*-C^* チャート)、隣接する色の色差を表す棒グラフである。 a^*-b^* チャートは CIELAB 色空間における a^* と b^* を表したもので、色相および彩度に関する情報を提供する。 L^*-C^* チャートは L^* と C^* ($= \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$) を表したもので、明度と彩度に関する情報を提供する。色差を表す棒グラフは、グラデーションにおいて隣接する 2 色の色差を棒で表すことで、色差の偏りを見せる。下段 (Improved) のチャートには上段 (Linear) との比較がしやすいように、上段のチャートの点や棒をグレーの影で表示している。

5.4 開発に用いた手法

カラーパスはパラメータ p ($p \in [0, 1]$) を用いて、3 次元空間内の直線あるいは曲線 (複数の直線分や曲線分の系列でもよい) として $\{c(p) | p \in [0, 1]\}$ のように表すことができる。つまり、カラーパス上の色はパラメータ p を用いて $c(p)$ のように表される。また、ここでは、色差式によって求められる 2 色 c_1, c_2 の色差を $d(c_1, c_2)$ のように表すことにする。

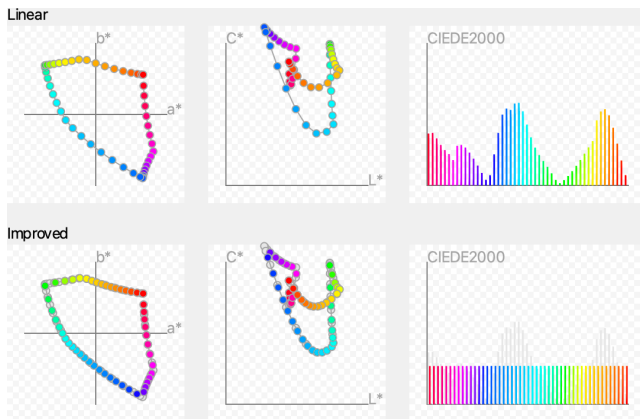


図 5 詳細情報提供用チャート群

5.4.1 逐次型データのためのグラデーションの求め方

逐次型 (Sequential) データを表すためのグラデーションは、基準 (最小値と最大値) となる両端の色を固定して、色差が均等になるようにしたい。

グラデーションの構成色数が n のとき、 $[0, 1]$ を等間隔に分ける $p_0 = 0, \dots, p_{n-1} = 1$ を初期パラメータ列とする。このパラメータ列を色差式を利用して改善することで、均等色差の配色を求める。色差式による改善の仕方をアルゴリズム 1 に示す。このアルゴリズムは仮想力学モデルに基づくもので、カラーパス上で色を表す n 個の点が、前後の点と色差を強さとするスプリングでつながっていると、安定状態を求める。ただし、最初と最後の点 (つまり両端の色) は固定されているとする。 f_i は i 番目の点がスプリングから受ける力を表しており、2~4 行目で 0 に初期化される。5~9 行目は、隣接する 2 色の色差を求め、それを力の強さとして f_i や f_{i-1} に積算している。10~13 行目は、積算した力によって点の位置 (実際には p) を改善している。係数 α は、移動量を調整するパラメータで現在の実装では 0.0001 としている。12 行目の条件式は p_i の順序が入れ替わることを防ぐためのものである。アルゴリズム 1 を繰り返し適用することで、パラメータ列 p_0, \dots, p_{n-1} が徐々に改善される。終了条件は色差の標準偏差が一定以下になることとした。

5.4.2 分岐型データのためのグラデーションの求め方

分岐型 (Diverging) データを表すためのグラデーションは、原点を表す色を中心に、正負それぞれの向きに (絶対値の) 最大値までの色差が均等かつできるだけ大きくなるようにしたい。たとえば、色 $c_{1/2}$ を中心として、正の向きの端を色 c_1 、負の向きの端を色 c_0 とするとき、 c_1 に向うグラデーションと c_0 に向うグラデーションの色差を同じにしなが、どちらかの端点は c_1 または c_0 にしたいということである。

分岐型データを表すためのグラデーションでは、原点を表す色を中央の色にするために、グラデーションの構成色数 n は奇数とする。まず、カラーパスの半分 (c_0 から

Algorithm 1 両端を固定したグラデーションの求め方

Input: p_0, \dots, p_{n-1} — パラメータの列 ($n > 2$)

Output: p_1, \dots, p_{n-2} — 色差が改善されたパラメータの列

```

1: function IMPROVECOLORSEQ1( $p_0, \dots, p_{n-1}$ )
2:   for  $i$  in  $(0, \dots, n-1)$  do
3:      $f_i \leftarrow 0$ 
4:   end for
5:   for  $i$  in  $(1, \dots, n-1)$  do
6:      $d \leftarrow d(c(p_{i-1}), c(p_i))$ 
7:      $f_{i-1} \leftarrow f_{i-1} - d$ 
8:      $f_i \leftarrow f_i + d$ 
9:   end for
10:  for  $i$  in  $(1, \dots, n-2)$  do
11:     $p_i \leftarrow p_i - \alpha \cdot f_i$ 
12:    if  $(p_i < p_{i-1})$  then  $p_i \leftarrow p_{i-1} + \epsilon$ 
13:  end for
14: end function

```

$c_{1/2}$) と ($c_{1/2}$ から c_1) をそれぞれ利用して、逐次型データのためのグラデーションの求め方により、 $(n+1)/2$ 色のグラデーションを二つ作成する。それらの色差の平均の小さい方を d_0 として、色差の平均の大きい方の (半分の) カラーパスを利用して、色差が d_0 のグラデーションを作成する。その際、原点側の色は固定するが、逆側の端は固定しない。色差を d_0 に揃えるアルゴリズムをアルゴリズム 2 に示す。アルゴリズム 1 と似ているが、色差 d_0 を入力とするとともに、 p_0 を固定しない点異なる。6 行目では、現在の色差と揃えたい色差 d_0 の差を求めて、その差を力の強さとしている。アルゴリズム 2 も繰り返し適用することで、パラメータ列を徐々に改善する。

Algorithm 2 片方を固定したグラデーションの求め方

Input: p_0, \dots, p_{n-1} — パラメータの列 ($n > 2$)

Input: d_0 — 色差

Output: p_0, \dots, p_{n-2} — 色差が改善されたパラメータの列

```

1: function IMPROVECOLORSEQ2( $p_0, \dots, p_{n-1}, d_0$ )
2:   for  $i$  in  $(0, \dots, n-1)$  do
3:      $f_i \leftarrow 0$ 
4:   end for
5:   for  $i$  in  $(1, \dots, n-1)$  do
6:      $d \leftarrow d(c(p_{i-1}), c(p_i)) - d_0$ 
7:      $f_{i-1} \leftarrow f_{i-1} - d$ 
8:      $f_i \leftarrow f_i + d$ 
9:   end for
10:  for  $i$  in  $(0, \dots, n-2)$  do
11:     $p_i \leftarrow p_i - \alpha \cdot f_i$ 
12:    if  $(p_i < p_{i-1})$  then  $p_i \leftarrow p_{i-1} + \epsilon$ 
13:  end for
14: end function

```

5.5 CIE1994 の変形

CIE94 色差式は 2 色の色差を求めるものであるが、2 色に関して非対称である。そのままではグラデーションにおける隣接する 2 色の色差式としては適当でないので、対称

になるように式の一部を変形して用いることにした*3。

6. 使用例

グラデーションの作成例を紹介しながら、開発したツールの使用例を紹介する。

6.1 指定できるカラーパスの種類

カラーパスの指定方法によって指定できるカラーパスの種類が異なる。そのため指定仕方はカラーパスのクラスを表しているとも言える。ここでは指定方法毎にグラデーションの作成例を紹介する。色差式による調整の効果を見せるために、図4と同様に、調整前後のグラデーションを上下に並置する。上はカラーパス上のパラメータを等間隔にして作成したもの（調整前）で、下が色差式により隣接する2色の色差が均等になるように調整したもの（調整後）である。

6.1.1 Linear (RGB2)

RGB色空間内の直線で表されるカラーパスである。グラデーションの両端点をRGBの3値で指定することができる。図6に作成例を示す。図2や図4もこのカラーパスでグラデーションを作成した様子を示している。

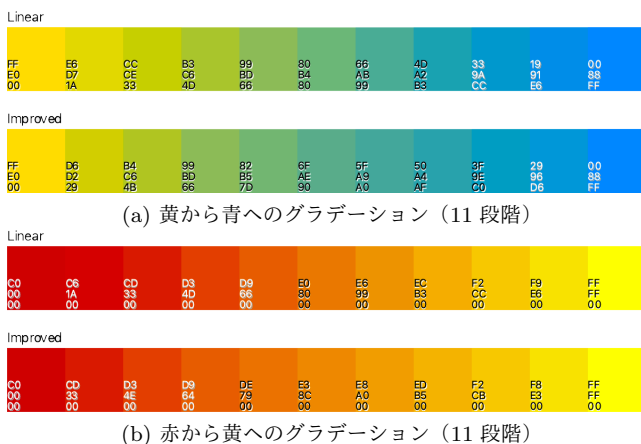


図6 Linear (RGB2)によるグラデーション

6.1.2 Linear3 (WCB)

RGB色空間の二つの無彩色（白、グレー、黒）を空間内のある1点を中継してつなぐ折れ線で表されるカラーパスである。ある色を中継して白から黒をつなぐことで、単に白からある色までや黒からある色までに比べて色差の大きいパスが取れる。両端点の色としてライトグレーやダークグレーも選べるようにしている。図7に作成例を示す。

6.1.3 Sequential (HSB)

パラメータ p に関して、HSB色空間の三つの次元 H、S、B の値をそれぞれ線形に定義するカラーパスである。HSB色空間を円錐でモデル化した場合、H と S が極座標系を構

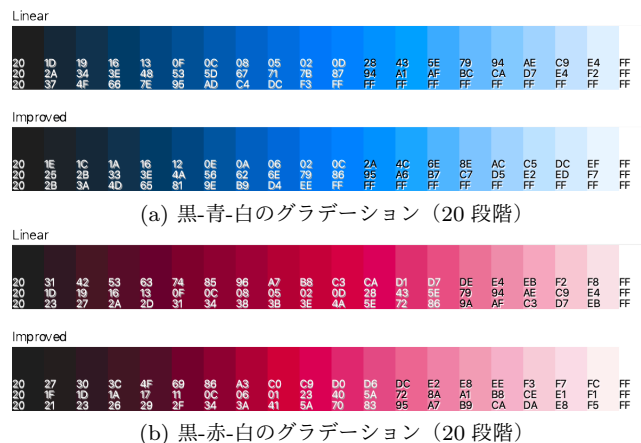


図7 Linear3 (WCB)によるグラデーション

成するため、HSB色空間内の曲線で表される。色相をまたがるグラデーションの作成が容易にできる。図8に作成例を示す*4。

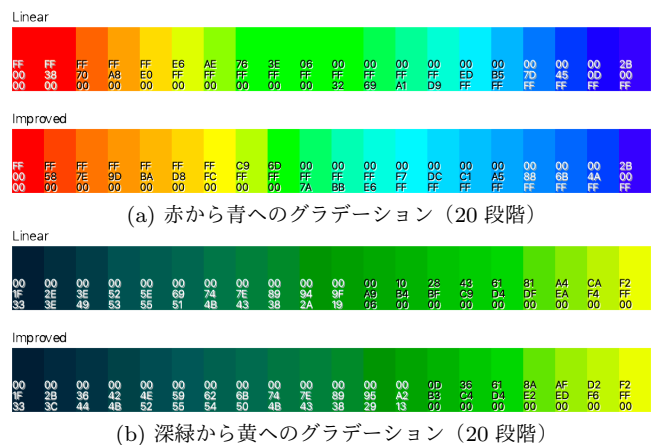


図8 Sequential (HSB)によるグラデーション

6.1.4 Sequential (CIELCh)

パラメータ p に関して、CIELCh色空間の三つの次元 L^* 、 C^* 、 h の値をそれぞれ線形に定義するカラーパスである。CIELCh色空間はCIELAB色空間を極座標で表すもので、Sequential (HSB)と同様に、CIELAB色空間内の曲線でカラーパスを表し、色相をまたがるグラデーションの作成ができる。図9に作成例を示す。

6.1.5 Linear3 (CNC)

分岐データ用のカラーパスで、Linear3 (WCB) に似ているが、RGB色空間内の2点を無彩色（グレー）を中継してつなぐ折れ線で表される。図10に作成例を示す。

6.2 詳細情報提供用チャート群

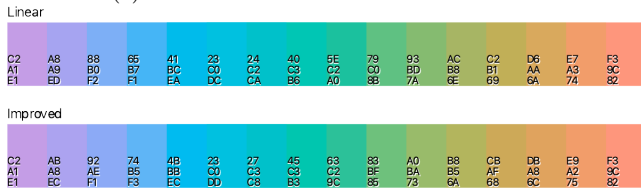
詳細情報提供用チャート群の使用例を紹介する。

*4 色相を巡回する虹色のグラデーションは、Bergmanら [8] も指摘しているように、順序データ（量的データ）の表現には必ずしも適していないが、ここではカラーパスの使用例を紹介するために虹色のグラデーションを含めた。

*3 https://www.imatest.com/docs/colorcheck_ref/

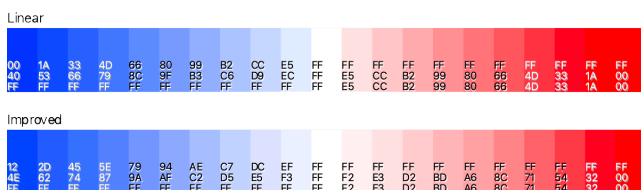


(a) 深緑から黄へのグラデーション (20 段階)

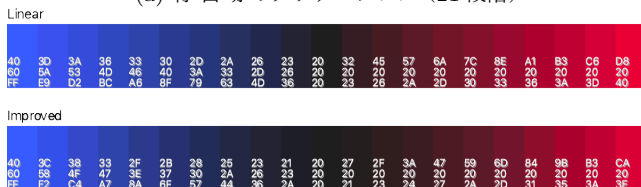


(b) パステル調の虹色グラデーション (16 段階)

図 9 Sequential (CIELCh) によるグラデーション



(a) 青-白-赤のグラデーション (21 段階)



(b) 青-黒-赤のグラデーション (21 段階)

図 10 Linear3 (CNC) によるグラデーション

6.2.1 a*-b*チャート

a*-b*チャートは利用する色相の範囲などを確認する際に有用である。たとえば、図 8(a) に示したグラデーションを作成する際には、逐次データの表現用であることから、色相の巡回が意識されないように紫の部分を取り除こうとした。図 5 の (左側) a*-b*チャートをみると、右側の縦に並んでいる部分が紫 (赤紫~青紫) に相当するため、この部分を取り除けば良いことが分る。そこで、図 11 の、a*-b*チャートを見ながら、H (色相) のパラメータを変更して、0 度から 250 度までを選んだ。

6.2.2 L*-C*チャート

図 8(b) に示したグラデーションと図 9(a) に示したグラデーションはどちらも深緑から黄へのグラデーションである。それぞれの色空間において 3 次元の値をそれぞれ段階的に変化させているので、どちらもなめらかなグラデーションのように見える。しかし、L*-C*チャートを見ると違いがあることが分る。Sequential (HSB) (図 12(a)) では L*-C*がシグモイド関数のような形をしているのに対して、Sequential (CIELCh) (図 12(b)) では L*-C*が線形関数になっている。どちらも明度はなめらかに変化するが、Sequential (HSB) で作成したグラデーションでは、両端に

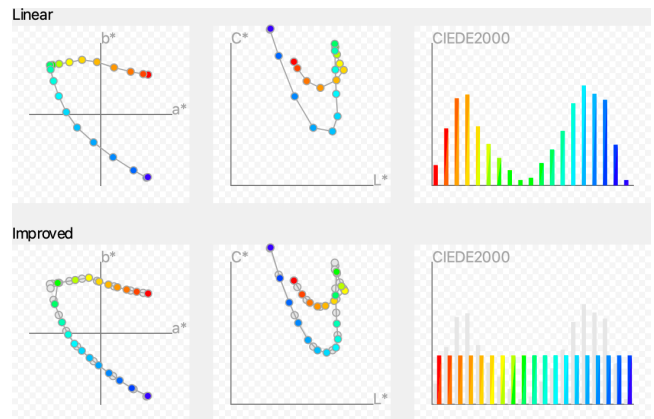
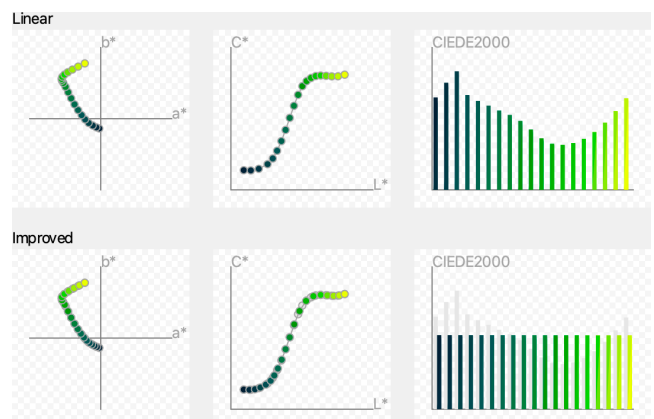
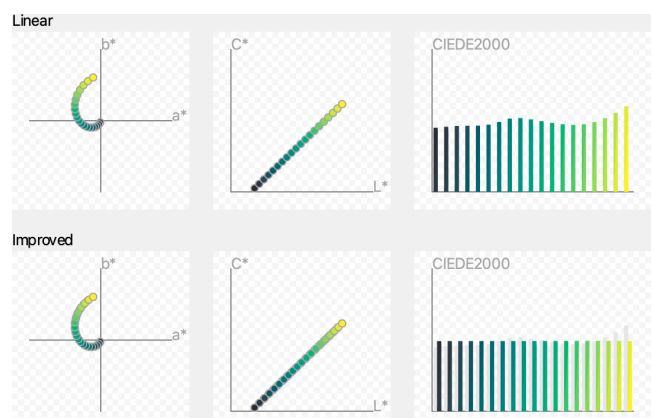


図 11 Sequential (HSB) による赤から青へのグラデーションの詳細情報

比べて中間付近の彩度 (C*) が急激に変化していることが分る。



(a) Sequential (HSB)



(b) Sequential (CIELCh)

図 12 深緑から黄への 2 種類のグラデーションの詳細情報

6.2.3 色差を表す棒グラフ

隣接する 2 色の色差を表す棒グラフは、下段 (調整後) のものはすべて同じ長さになるはずである。それに対して上段 (調整前) はカラーパス上でパラメータを均等に取った場合のグラデーションの色差を表しており、量的データを表すためのグラデーションとして、いかに不適切である

かが読み取れる。

7. 考察

RGB 色空間や HSB 色空間内で定義されるカラーパスは端点の 2 色で指定するような UI を用意した。図 3(c) は RGB 色空間における 2 端点を指定する UI (Linear (RGB2) 用) であり、2 色をそれぞれ R、G、B の 3 値で指定する。HSB 色空間における 2 端点の指定も同様で、2 色をそれぞれ H、S、B の 3 値で指定する。Linear3 (WCB) は 3 色を指定する必要があるが、2 色については無彩色に限定しているため、明度だけを指定すれば良い。いずれにしても、RGB 色空間や HSB 色空間内でのカラーパスの指定は、どのように指定しても、2 色が同じという無意味な場合も含めて、何らかのカラーパスが設定できる。

それに対して、CIELAB 色空間内でのカラーパスの指定は容易ではない。先に説明したように CIELAB 色空間のいびつさも要因となり、2 色の選び方によってはカラーパスが sRGB 色空間の外にでる可能性がある。sRGB 色空間の外の色が選ばれた場合には、sRGB 色空間の外であることが分かるような印をつけているが、カラーパスが sRGB 色空間の中に収まるように調整することは簡単でない。たとえば、図 9(b) に示したグラデーションを作成する際には、 a^* - b^* チャートと L^* - C^* チャートを見ながら、細かな試行錯誤により 2 色のパラメータを調整した。

8. まとめと今後の課題

量的データの表現に有用なグラデーションの作成を支援することを目指して開発したツールを紹介した。ユーザが色空間内のカラーパスを指定すればグラデーションを自動的に作成してくれる。色差を考慮したグラデーション、すなわち色差式に基いて隣接する 2 色の色差が均等となるグラデーションの作成は簡単になったと思われる。

今後の課題としては、ツールの有用性を向上させることであり、(1) カラーパスの種類の拡張と (2) 指定方法の改善が重要と考えている。カラーパスの種類の拡張とは、利用できるカラーパスの種類を増すことである。Linear (RGB2) では、RGB 色空間内の直線分をカラーパスとするが、たとえば RGB 色空間内の円をカラーパスとして利用することもできるはずである。しかしながら、RGB 色空間内の円が量的データを表すためのグラデーションの作成に有効かどうかは分からない。量的データを表すためのグラデーションの作成に有効なカラーパスの種類を増すことがひとつの課題であり、有効性の評価基準などを設定できれば、カラーパスの種類を増すこと自体を効率化できると思われる。指定方法の改善とは、ある種類のカラーパスに関して具体的なカラーパスを指定する UI を改善することである。たとえば、CIELAB 色空間内の点は L^* 、 a^* 、 b^* の 3 次元で表されるため、2 組の (L^* 、 a^* 、 b^*) によって 2

点を指定することができる。しかしながら、2 組の (R、G、B) によって CIELAB 色空間内の点を指定することもできる。このようなバリエーションに関して、より便利な指定方法を探すことが改善となる。

なお、CIELAB 色空間 (CIELCh 色空間) 内のカラーパスを扱いやすくするためには、第 7 節で述べたような問題への対策も欠かせない。

参考文献

- [1] Jacques Bertin. *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps*. ESRI Press, 2010.
- [2] ジャック・ベルタン. 図の記号学. 平凡社, 1982.
- [3] Colin Ware. *Information visualization: perception for design*. Morgan Kaufmann, 3rd edition, 2012.
- [4] William S. Cleveland and Robert McGill. Graphical perception: Theory, experimentation, and application to the development of graphical methods. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 79, No. 387, pp. 531–554, 1984.
- [5] Alan M MacEachren and DR Fraser Taylor. *Visualization in modern cartography*. Elsevier, 1994.
- [6] Cynthia A. Brewer. Color use guidelines for data representation. In *Proceedings of the Section on Statistical Graphics*, pp. 55–60, Alexandria, VA, USA, 1999. American Statistical Association.
- [7] Mark Harrower and Cynthia A. Brewer. Colorbrewer.org: An online tool for selecting colour schemes for maps. *The Cartographic Journal*, Vol. 40, No. 1, pp. 27–37, 2003.
- [8] Lawrence D Bergman, Bernice E Rogowitz, and Lloyd A Treinish. A rule-based tool for assisting colormap selection. In *Proceedings of the 6th conference on Visualization 1995*, pp. 118–125. IEEE, 1995.
- [9] Young Hyun. Nonlinear color scales for interactive exploration, 2001. [Online; Last modified: Fri Jul 13 15:45:51 PDT 2001].
- [10] Kazuo Misue and Hatsune Kitajima. Design tool of color schemes on the CIELAB space. In *Proceedings of 20th International Conference on Information Visualisation (iV 2016, July 20–22, 2016, Lisbon, Portugal)*, pp. 33–38, 2016.
- [11] Stephen Smart, Keke Wu, and Danielle Albers Szafir. Color Crafting: Automating the construction of designer quality color ramps. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 26, No. 1, pp. 1215–1225, 2020.
- [12] Sharon Lin, Julie Fortuna, Chinmay Kulkarni, Maureen Stone, and Jeffrey Heer. Selecting semantically-resonant colors for data visualization. *Computer Graphics Forum*, Vol. 32, No. 3, pp. 401–410, 2013.
- [13] V. Setlur and M. C. Stone. A linguistic approach to categorical color assignment for data visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 22, No. 1, pp. 698–707, 2016.
- [14] C. C. Gramazio, D. H. Laidlaw, and K. B. Schloss. Colorgical: Creating discriminable and preferable color palettes for information visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 23, No. 1, pp. 521–530, 2017.