

多変数データの可視化に用いるツヤの生成手法に関する研究

須田 航貴^{†1} 齋藤 豪^{†2}

近年、技術の発達に伴って直接観察できないデータを計算機で可視化するという手法が一般的になっている。可視化すべきデータが多次元である場合にそれらを同時に表示することはデータを解析する上で非常に意義があるといえるが、その際、それぞれの要素をはっきり区別し、値を読み取ることが困難となるという問題がある。そこで本研究では色とは独立に認識でき、また視点、光源、法線、反射関数といった多くのパラメータで制御可能なツヤを色を用いた図との合成することで多次元データの可視化を行うとし、そのためのツヤの生成手法を提案する。

Visualization of multidimensional data using glossy surface

KOHKI SUDA^{†1} and SUGURU SAITO^{†2}

Recently, computer visualization of complex data that we can not observe directly is widely used. Displaying multidimensional data simultaneously is very significant, but there is a difficulty to distinguish and read each values. This study presents a new visualization method for multidimensional data by using glossiness which can be separated from object color and controlled by parameters such as viewpoint, light source, surface normal and reflection function.

1. はじめに

現在、技術の発達に伴って直接観察できないデータを計算機で可視化するという手法が一般的になっている。可視化すべきデータが多次元である場合にそれらを同時に表示することはデータを解析する上で非常に意義があるといえるが、その際、それぞれの要素をはっきり

区別し、値を読み取ることが困難となるという問題がある¹⁾。そこで本研究では色とは独立に認識でき、また視点、光源、法線、反射関数といった多くのパラメータで制御可能なツヤを色を用いた図との合成することで二次元多変数データの可視化を行うとし、そのためのツヤの生成手法を提案する。

ツヤは模様と区別できるため、色を用いて表示したデータ、明度変化を用いて表示したデータ、ツヤを用いて表示したデータの同時表示が可能となる。

ツヤと明度変化を用いた模様とは視点、もしくは光源の位置に応じた変化があるかどうかで区別できる。今回は海面のように波打った法線を作成し、そこに光源から平行光を当てることでツヤを生じさせる。また表示するデータはベクトル場とする。次節からは関連研究を述べたあと、そのようなツヤを表示するための法線の作成法、光源・視点の設定法、反射の計算法、適用結果を示す。

2. 関連研究

二変数データの同時表示を色の要素の変化で行う場合には片方の要素の変化がもう片方の知覚の妨げになりがちだが、Rheingans²⁾ は色相と明度を用いることでそのような値の読み取りの困難さを緩和できることを示した。

二変数データの同時表示の手法として Ware¹⁾ は QTonS(Quantitative Texton Sequences) と呼ばれるテクスチャを用いた手法を提案した。QTonS は小さなパッチの集合であり、一つ一つが量を表している。この場合に求められる条件は、値の増減の変化をはっきり読み取れること、多くの情報が表示できるように十分小さいサイズであること、色として表示したデータに重ねて同時表示を行うため背景の情報を覆ってしまう部分が最小限であることが挙げられる。Ware はそれらの要素を考慮し、2種類の QtonS を提案した。1つは並べると網掛け状になるようにしたもので、もう1つは段階ごとの形の違いがはっきりするようデザインされたものである。

しかし QTonS の使用にはユーザが texton をはっきり読み取れる必要があるために生じるテクスチャの解像度の限界という問題点がある。そこでより解像度の高い表示が可能なベクトル場の可視化手法として、1993年に Cabralらによって唱えられた Line Integral Convolution(LIC)³⁾ が挙げられる。これはピクセルごとにベクトル場に沿った移流(advection)を計算し、ベクトルの流れをストリームラインと呼ばれる線分の集合に近似する。さらにその線分上で入力テクスチャであるノイズの各点の値を周期関数を使って畳み込んでいくことでベクトル場の可視化画像を得る。

^{†1} 東京工業大学 工学部

Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology

^{†2} 東京工業大学 大学院 情報理工学系研究科

Graduate School of Information Science & Engineering, Tokyo Institute of Technology

Kiuら⁴⁾はLICに用いるノイズ画像を工夫することでベクトルの方向の他にベクトルの大きさの情報も同時に表示した。高周波から低周波まで複数のノイズ画像を用意し、入力ベクトル場のベクトルのノルムが大きい部分ほど低周波のノイズを選択する。この操作を各ピクセルで行うことにより、複数の周波数のノイズ画像から一つのノイズ画像を作成する。作成したノイズをLICに用いることで大きさの情報をLICの適用結果に付加した。

しかしLICを多次元データの同時表示に用いる場合、色を用いた図を重ねることはできるがそれ以上の情報を付加することは難しい。そこで本研究ではより多くのデータの同時表示を行うためにLICの結果画像を用いて色とは独立して認識できるツヤを生成することを考える。また入力ノイズを工夫することで大きさの表現も同時に行う。

3. 提案手法

ツヤとして表示するデータは二次元のベクトルデータとする。まず、入力されたベクトルデータに応じたノイズ画像を作成し、それに対しLICを行う。次に微分フィルタを用いてLICの適用結果から x 、 y 方向の勾配を計算し、そこに z 軸方向成分を与えたものを法線とする。この処理をピクセルごとに繰り返すことで法線マップを作成する。図1に法線作成までの模式図を示す。作成した法線マップを用いたパンプマップ⁵⁾を表示平面上に適用し、疑似的な凹凸を発生させる。さらに視点、光源、反射関数を設定することで入力された二次元ベクトルデータをツヤとして表示する。

3.1 ノイズの作成

ここではLICに使用するノイズを作成する。まず黒地にランダムに白い点を打ったホワイトノイズ画像を用意し、入力したベクトルデータの各点のノルムの値により半径を変えながらGaussian blurをかけていく。

入力ベクトルデータのベクトルの x 成分、 y 成分の中での絶対値の最大値を求め、その値で割ることにより各点の成分を $[-1, 1]$ におさめる。そのようにした x 成分、 y 成分をそれぞれ v_x 、 v_y とし、その点のノルム n を式(1)で計算する。 $\sqrt{2}$ で割ることで正規化する。

$$n = \sqrt{\frac{v_x^2 + v_y^2}{2}} \quad (1)$$

ただし、ノルムの分布に偏りがある場合には各点でのGaussian blurの半径の変化が乏しくなり大きさの変化が認識しづらくなるため、全体のノルムの平均の値 n_{ave} を使って n を補正した n_{adj} を式(2)により計算し、それを用いた。この計算により、 n_{ave} の値が n_{adj} の0.5となる補正がかかる。

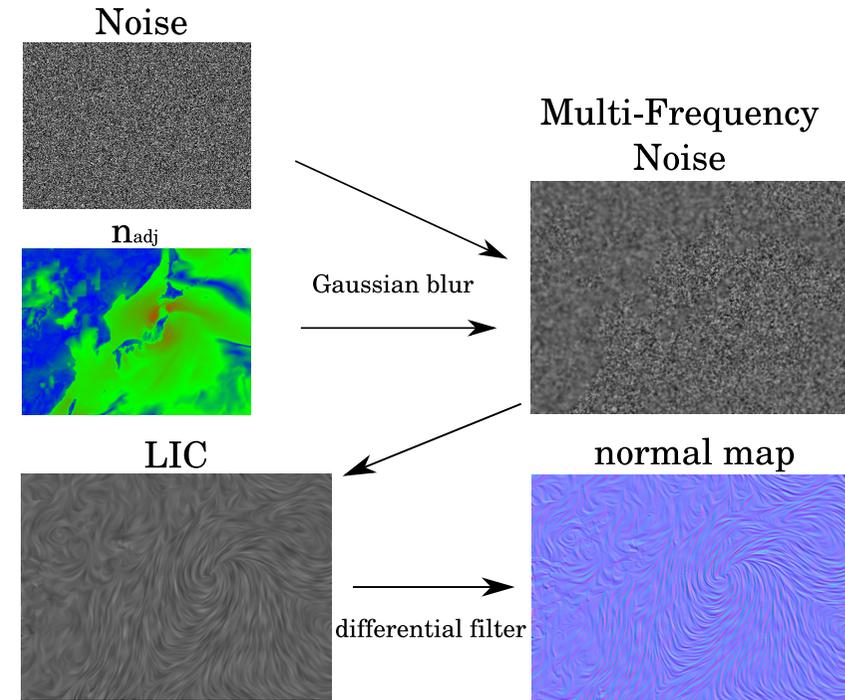


図1 法線作成までの模式図

$$n_{adj} = \begin{cases} \frac{0.5}{n_{ave}} n & \text{if } n - n_{ave} < 0 \\ 1 - \frac{0.5}{1 - n_{ave}} (1 - n) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

Gaussian blur の半径は 1 から 16 までとし、 n_{adj} の値が大きい部分ほど小さい半径、小さいほど大きい半径を用いる。またここで作成したノイズを使ってツヤを生成していくことになるが、Gaussian blur の半径の変化がツヤに与える影響は半径が小さいほど顕著に現れるため、指数関数を用いてさらに偏りを持たせる。Gaussian blur をかける半径を r 、半径の最大値を r_{max} としたとき、式 (3) により r を計算する。

$$r = (r_{max} - 1)(1 - \log_{10}(9n_{adj} + 1)) + 1 \quad (3)$$

以上の手法を用いてノイズに Gaussian blur をかけ、そのノイズを使って法線を作成する。

3.2 LIC の適用と法線の作成

3.1 節で作成したノイズに対し LIC を適用し、ベクトル場の可視化画像を生成する。畳み込みの範囲は注目ピクセルを中心としてストリームラインの方向に一定の幅伸ばした Hann window により設定する。Hann window は式 (4) で与えられる形をしている。

$$w(x) = \begin{cases} 0.5 - 0.5 \cos 2\pi x, & \text{if } 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

Hann window の幅をストリームラインを伸ばす長さに応じたものとするため、式 (4) を式 (5) と変形する。

$$w(x) = \begin{cases} 0.5 + 0.5 \cos \frac{\pi}{a} x, & \text{if } a \leq x \leq a \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

a は窓関数の中心から両端までの幅である。LIC のストリームラインの長さを両端にそれぞれ 20 とし、Hann window 関数の中心から両端までの幅 a も同様に 20 とした。

作成した LIC 画像に対し微分フィルタをかけ、 x 、 y 方向の勾配を計算する。微分フィルタには 3×3 の無矛盾微分演算子⁶⁾を用いた。計算した勾配をそれぞれ d_x 、 d_y とし、定数 c_z を用いて注目点の法線 $N = \{d_x, d_y, c_z\}$ を設定する。この処理を各ピクセルに対して行うことで法線マップを作成する。これにより作成された、ベクトルの流れの向きに応じた法線マップには、ベクトルのノルムが大きい部分ほど細かい凹凸ができています。

できあがる法線の z 軸からの角度には c_z の大きさによって偏りが生じる。どの範囲に偏りをもってくるべきかは入力データの分布だけでなく光源位置や反射関数によっても変わる。

り、画面全体に鏡面反射が見え、かつグラデーションを失わない程度に調整する必要がある。今回は z 軸から 10° 付近に法線の分布が集中するよう $n_z = 0.11$ とした。

3.3 視点位置と光源の配置

ツヤは光源や視点の方向に応じて変化させることでより強く模様と区別した認識が行える。複数人で表示データを見る時のことを考慮し、視点の移動は行わず、光源位置を変えることでツヤを変化させた。また表示面のどの場所にも同じ角度で光が入射するように照射する光は平行光とした。表示平面は原点を中心として xy 平面上に設定する。視点は z 軸上で固定し、 $z > 0$ 側の無限遠に設置した光源を z 軸を中心に回転させる。原点と光源位置を通る線分と z 軸のなす角が 40° を保つように回転させた。

3.4 反射関数

バンプマップを用いてデータの表示平面上に 3.2 節で作成した法線マップによる擬似的な凹凸を作成する。データの表示面の z 軸方向に視点と平行光の光源を設置すると鏡面反射が生じる。鏡面反射成分の計算には式 (6) の Blinn による Phong モデル⁷⁾を用いる。

$$I_s = k_s I_i \cos^{c_1} \theta = k_s I_i (N \cdot H)^{c_1} \quad (6)$$

ここで k_s は鏡面反射率、 I_i は入射光の強さ、 c_1 は反射の減衰を制御する定数、 H は N と視点方向へのベクトルとの中間ベクトル、 θ は N と H のなす角である。減衰は鏡面反射のグラデーションを失わせない程度に、今回は $k_s = 0.5$ 、 $c_1 = 47$ とした。

3.5 色を用いた画像との合成

生成したツヤを色を用いた図と合成するために、まず色を用いた図の色を表示平面の下地の色 c とし、そこに鏡面反射成分 I_s を合成する。あるピクセルの色 I は式??により決定する。

$$I = \frac{1}{2} c + I_s \quad (7)$$

4. 適用結果

ベクトルデータは気象庁の GSM(日本域) 客観解析データ ((財) 気象業務支援センター) のうち風のデータを用いる。図 2 から図 5 はそれぞれ異なる光源位置での提案手法の結果画像である。光源位置は $-x$ 方向から $-y$ 方向へ 45° 刻みで動かす。

図 2 から図 5 を見ると光源の位置に対応してツヤが変化していることがわかる。法線が光源側を向いている部分で強い鏡面反射が見られるため、ベクトル場のベクトルを選択的に見ることも可能である。光源を z 軸を中心に回転させることで鏡面反射の動きとしてベク

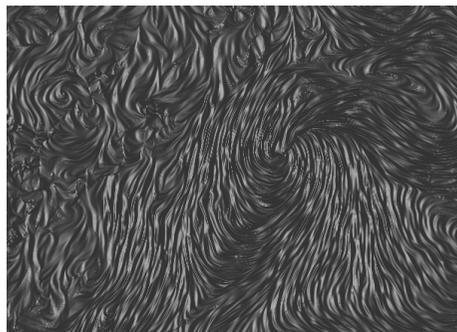


図 2 適用結果 (光源位置は $-x$ 方向)



図 3 適用結果 (光源位置は $-x$ 方向から左回りに 45°)

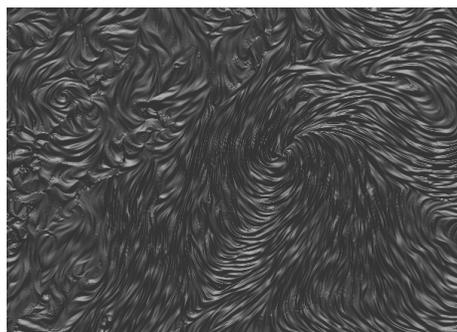


図 4 適用結果 (光源位置は $-y$ 方向)

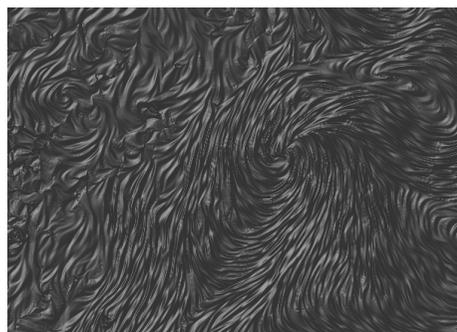


図 5 適用結果 (光源位置は $-y$ 方向から左回りに 45°)

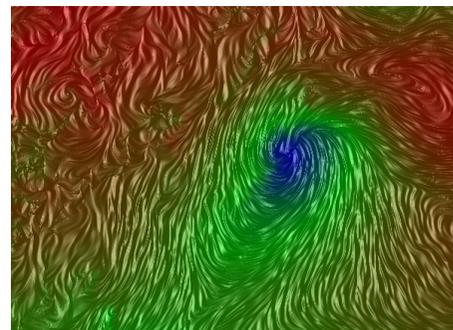


図 6 合成結果 (光源位置は $-x$ 方向)

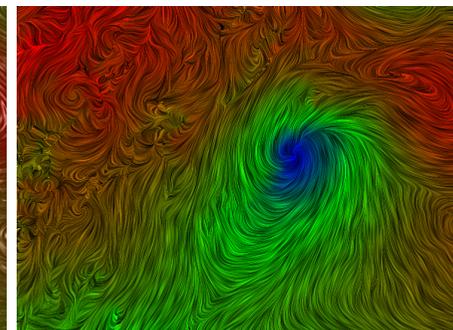


図 7 LIC 画像との合成結果

トル場の渦状になっている部分の形を見ることができる。

提案手法を用いて生成したツヤを異なるデータを表した別の図と合成し、多変数データの同時表示を行う。図 6、図 7 はそれぞれ提案手法で生成したツヤもしくは従来の LIC 画像と、変数の変化を色相で表した図との合成結果である。どちらの合成結果でもベクトル場のベクトルの方向と下地の色の变化は容易に読み取れる。提案手法では凹凸の細かさでベクトルのノルムの情報も表している。光源が動くことでツヤも移動するため、下地の色の読み取りが容易になる。

従来の LIC でも色を用いた図との同時表示は可能であるが、提案手法を用いることで色を用いた図と LIC 画像との合成結果にさらにツヤを重ねることができる。図 8 から図 11 は LIC 画像と色相を用いた画像の合成結果に提案手法で生成したツヤを合成したものである。光源位置は $-x$ 方向から $-y$ 方向へ 45° 刻みで動かす。光源が動くことでツヤも移動し、ツヤの分離が容易になるため、ツヤ、LIC、下地の色の読み取りが同時に行える。

5. ま と め

LIC を用いた多次元データの同時表示に用いるツヤの生成手法を提案した。入力ノイズを工夫した LIC の適用結果をツヤとして表示することで同時表示できるデータの数を増やすことができ、これにより少なくとも二つのベクトル場と一つのスカラー場の同時表示が可能となることがわかった。今後の課題として最適なパラメータの設定や、さらに同時に表示するデータを増やすこと、この手法における可読性の評価実験が挙げられる。

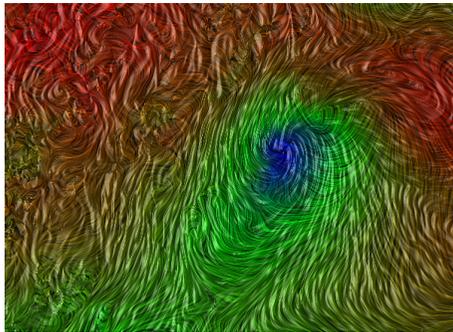


図 8 合成結果 (光源位置は $-x$ 方向)

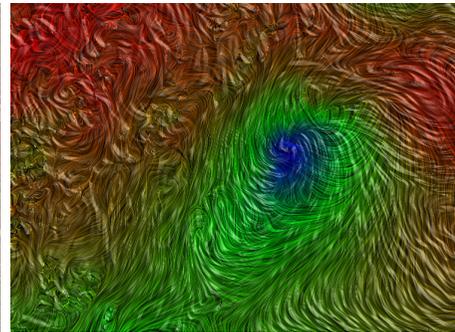


図 9 合成結果 (光源位置は $-x$ 方向から左回りに 45°)

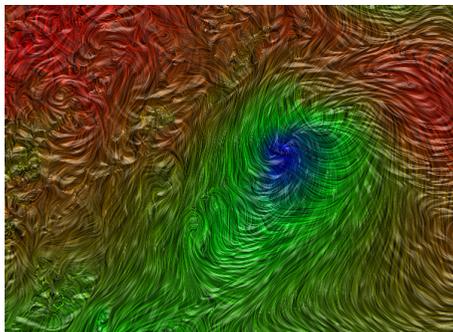


図 10 合成結果 (光源位置は $-y$ 方向)

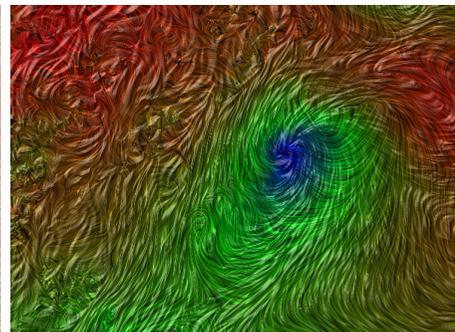


図 11 合成結果 (光源位置は $-y$ 方向から左回りに 45°)

参考文献

- 1) Ware, C.: Quantitative Texton Sequences for Legible Bivariate Maps, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.15, pp.1523–1530 (online), DOI:<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TVCG.2009.175> (2009).
- 2) Rheingans, P.: Task-Based Color Scale Design, *Proceedings Applied Image and Pattern Recognition. SPIE*, pp.35–43 (1999).
- 3) Cabbral, B. and Leedom, C.: Imaging Vector Fields Using Line Integral Convolution, *Computer Graphic Proceedings, Annual Conference Series*, pp.263–269 (1993).
- 4) Kiu, M.-H. and Banks, D.C.: Multi-frequency noise for LIC, *Proceedings of the 7th conference on Visualization '96, VIS '96*, Los Alamitos, CA, USA, IEEE Computer Society Press, pp.121–126 (online), available from (<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=244979.245033>) (1996).
- 5) Blinn, J.F.: Simulation of wrinkled surfaces, *SIGGRAPH Comput. Graph.*, Vol.12, pp.286–292 (online), DOI:<http://doi.acm.org/10.1145/965139.507101> (1978).
- 6) Ando, S.: Consistent gradient operators, *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, Vol. 22, No. 3, pp. 252 –265 (online), DOI:10.1109/34.841757 (2000).
- 7) Blinn, J.F.: Models of light reflection for computer synthesized pictures, *SIGGRAPH Comput. Graph.*, Vol.11, pp.192–198 (online), DOI:<http://doi.acm.org/10.1145/965141.563893> (1977).