

多変量データの可視化における影の利用に関する研究

鄭 中翔^{1,a)} 齋藤 豪^{1,b)}

概要: データの可視化を行う際には、その概要を一目で読み取れるように表示する工夫が望まれる。多変量データの可視化を行う上で使用できる要素には色、模様、形、大きさ、向きがあり、これらを組み合わせることによって可視化は実現されてきた。本研究では新たな要素として影に注目する。影は色の変化の一種であると言えるが、我々は色の変化と影による色の変化それぞれ独立に認識することが可能である。この特徴を利用した影を用いた新たな可視化手法を提案する。

キーワード: 可視化, 多変量データ, 影, 色

Visualization of multivariate data using shadows

ZHONGXIANG ZHENG^{1,a)} SUGURU SAITO^{1,b)}

Abstract: When visualizing data, one expected effect is to overview the data intuitively. In case of multivariate data visualization, combinations of visual cues which are color, texture, shape, size and orientation have been used. In this study, we focus on shadow which is distinguished from texture or color gradation unconsciously by human perception as a new visual cue for visualization, and introduce new methods which use shadows for multivariate data visualization.

Keywords: Visualization, Multivariate data, Shadow, Color

1. はじめに

データの可視化を行う際には、その概要を一目で読み取れるように表示する工夫が望まれる。特に可視化する対象データが多変量であるとき、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言える。その際、それぞれの要素をはっきりと区別し値を読み取れるように表示する必要がある。多変量データの可視化を行う上で使用できる要素には色、模様、形、大きさ、向きがあり [1]、これらを組み合わせることによって可視化は実現されてきた。本研究では光学現象としての影に注目する。影は色の変化の一種であると言えるが、光学現象としての現れる影を意図的に可視化に使用した例は見られない。影

による効果を考えた時、影の存在は、物体の位置関係、影が映る面の形状、遮蔽物の形状を認識する上で重要な手がかりになる [2]。また、影はありふれた現象であり、影による色の変化を我々は無意識のうちに打ち消すことが可能であることが影による錯視を利用した画像からもわかる [3]。つまり、影による色の変化と地の色の変化は独立して認識することが比較的容易である。このような影の特徴を利用した可視化手法を提案する。

影を発生させるためには、光源、光源からの光を遮る遮蔽物、それによって現れる影を映す物体が必要である。これら三つの要素を調整し、色の読み取りを妨げずに、影によって追加の情報を表示する手法を提案する。本研究で可視化の対象とするデータは二次元多変量データとし、提案手法によって複数の要素を同時に表示した結果を示す。

2. 関連研究

色の変化を用いて多変量データを表示する場合には、あ

¹ 東京工業大学大学院情報理工学研究所
Tokyo Institute of Technology Graduate School of Information Science and Engineering

a) zheng@img.cs.titech.ac.jp

b) suguru@img.cs.titech.ac.jp

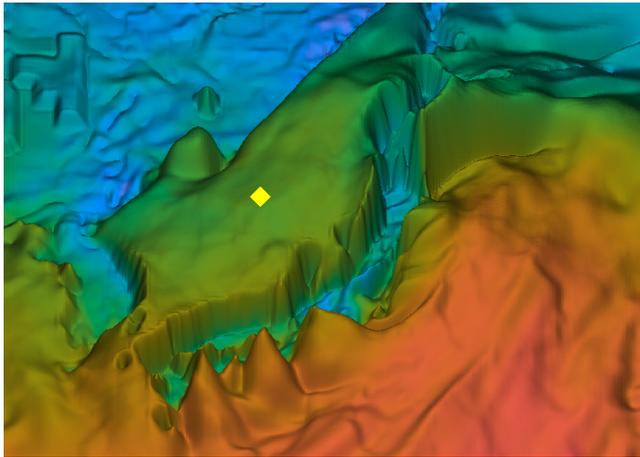


図 1 高さを用いて風速を可視化した結果

る要素が他の要素の読み取りを妨げやすいが、色相と明度を用いることにより読み取りにくさを低減することができることを Rheingans[4] が示している。

多変量データの可視化のためにテクスチャを使用したものも多く提案されている [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11]. Interrante ら [8] と Tang ら [9] は自然な風合いの模様 (natural texture) を組み合わせることで多変量データの可視化を行い、自然な風合いの模様は規則的に生成される模様と比べて複雑かつ細微であり、わかりやすいと報告している。しかし、連続的に変化する模様から正確な値の読み取り、比較を行うのは困難であると考えられる。本稿では棒グラフのように値の大きさを読み取りやすい手法を提案する。

Ware[10] は QTonS(Quantitative Texton Sequences) と呼ばれる texton と色を併用することで二変量データの可視化を行っており、高い可読性を実現した。しかし、texton のひとつひとつは読み取れるサイズで表示する必要があり、高解像度のデータを表示することは難しい。また、文献 [10] 中で示されている texton により表示できる階調は 10 段階であるため値の微妙な変化を読み取りにくいことと、texton によって背景の色が覆われてしまうという問題点がある。本稿では背景色を完全に隠すのではなく影により暗くするために留める手法を提案する。

Umess ら [11] は color weaving と呼ぶ、色を混ぜずにそれぞれの色が残るように色系で織ったような模様で表示する手法を提案した。Hagh-Shenas ら [12] は、表示する変数が多いほど複数の色を単純に混色するよりも、color weaving を用いたほうが値を正しく読み取れることを示している。しかし、単純な混色ではなく影としての色の変化を利用することで読み取りやすく表示できると考えられる。

可視化に立体情報を用いることも多くある。図 1 のように高さを用いて風速を示した結果は値の大きさを直感的に理解しやすいという利点がある。しかし、高さを表示する

場合、面を斜めから観察しなければならない。斜めから観察することによって、見えない部分が存在することと、凹んだ部分を観察しにくいという問題が存在する。そこで本稿では影を利用して高さの情報を生かせる可視化手法を提案する。

3. 提案手法

本稿では影を利用した 2 つの可視化手法を提案する。一つはデータから凹凸面を生成し、そこに現れる凹凸面の模様と影から値を読み取るものである。もうひとつはデータ表示面上方に値によって大きさが変化する物体を配置し、その上に平行光を設置することで、テクスチャのような影を発生させるものである。

3.1 凹凸面の陰と棒状の影を用いた手法

表示するデータは平面上にマッピングすることができる二変量データとし、それぞれ var_1, var_2 とする。 var_1, var_2 は 0 から 1 までの値を取る。 var_1 は色、 var_2 は高さに対応させ、色のついた凹凸面を生成する。以下、 var_1 により決定された色を地の色と呼ぶ。 var_2 にスプライン補間適用した後、値を高さに見立てなめらかな擬似凹凸面を生成し、そこに現れる陰によって局所的な変化を表現する。通常のランバート反射と環境光によるシェーディングでは光源方向を向いていない面の凹凸感が失われてしまう。これを防ぐためにシェーディングは寒色暖色トーン [13] の発想に基づいた手法を用いる。シェーディングを青から黄へのトーンと明度の変化を使用して表示する。シェーディングによる色の变化と地の色の变化の仕方を区別するために、 var_2 地の色の变化は赤から緑へのトーンを用いる。

var_2 の表現にはシェーディングによる局所的な変化の表示に加えて、絶対的な高さを表示するため各々の地点の高さに比例した高さ、太さをもつ円柱を設置して平行光を照射することで影を発生させる。円柱の配置は一定間隔で配置したものを予め用意した乱数を使用して重ならないようにする。これらの操作によって影の重なりを少なくし、可読性を高める。影の中の色は明度を低下させる。一般的なシェーディングでは影の中でのシェーディングによる色の变化が図 2 左のようになくなるが、本手法では影の中においても行い図 2 右のように表示する。シェーディングの処理は色相と明度の変化を与えるため、影の中でも領域でもシェーディングによる局所的な表現することができる。これらの処理によって計算される RGB 色 C は Lab 表色系から RGB 色を求める関数 $LabtoRGB(L,a,b)$ を用いて次の式で表される。

$$C = LabtoRGB(l, a, b) \quad (1)$$

$$l = L + s * shade - t(1 - shadow) \quad (2)$$

$$a = k(\text{var}_1 - 0.5) \quad (3)$$

$$b = u * \text{shade} \quad (4)$$

$$\text{shade} = \mathbf{l} \cdot \mathbf{n} \quad (5)$$

ここで、 L, k, s, t, u は定数、影を表す変数 shadow は 0 で完全に影、1 で影の外部になっている状態とする。 \mathbf{l}, \mathbf{n} はそれぞれ正規化された光源、法線ベクトルで $-1 \leq \mathbf{l} \cdot \mathbf{n} \leq 1$ である。 \mathbf{n} は var_2 によって作られた擬似凹凸面の法線ベクトルである。影は PCF[14] を用いて生成するため、影の縁にアンチエイリアス処理がかかっており shadow は 0 から 1 の値をとる。

影の形状は影が映る面の形状にも依存する。影の長さから高さを読み取る際に面の形状による影響を防ぐために、凹凸面の高さは実際には変化させず、バンプマッピングによって陰のみをつける。つまり、円柱によって現れる影のみを、バンプマッピングを適用した平面に表示する。これにより、影の長さと円柱の高さを比例させることができる。図 3 左に示しているのは棒状の影と同じような明度の変化による模様を遮蔽物に当たる部分を表示せずに表したものである。この場合明度の変化自体は影と同じであるが、遮蔽物が確認できないため影と認識するのは難しいと思われる。一方で図 3 右のように遮蔽物を示し、模様の一部の形を変化させることで影としての認識のしやすさは大きく向上する。また、遮蔽物を明確に示すことによって影の発生源を認識することもでき、影の重なりも低減することができる。

また通常の表示では、影の高さと対応する円柱の位置を読み取ることで、詳細な値の読み取りと比較を行うことができる。縮小表示の際には、影を模様とみなし、その密度を読み取ることで、大域的な変化を読み取る事が可能である。

3.2 模様状の影を用いた手法

棒状の影を表示した手法では遮蔽物を視認することができるため、明度の変化が影によるものと認識しやすくなる。遮蔽物を表示させず、影だけを表示させる場合、その影を、単なる明度の低下ではなく影であると認識できるように表示するには工夫が必要であると考えられる。そこで、影と認識できるように表示するのではなく、影生成のアルゴリズムを利用して模様状の影を生成することで可視化を行う手法を提案する。

模様状の影と前節の棒状の影及びシェーディングを組み合わせて表示することを想定し、区別が付きやすく、値の変化を読み取りやすい模様について考察する。値の変化を読み取る際には模様の大きさが単調的に拡大するよりも、値の変化によって模様の形が変化するほうがわかりやすい。そこで、図 4 のように、中間値までは横、その後縦方向に拡大する楕円を使用する。



図 2 左：影の中のシェーディングなし 右：影の中のシェーディングあり



図 3 左：模様のように表示した場合 右：遮蔽物が確認できる影として表示した場合

模様状の影は遮蔽物の輪郭をそのまま射影することと等しい。今回は値に応じて大きさが変化する円形の物体を格子状に表面の上方カメラよりも上に配置し平行光を照射することで、円形、楕円形の影を発生させる。物体の大きさを変化させて値の大小を表すため、大きさの変化が見えるような密度で表示させる必要がある。 var_2 を模様状の影を用いて表示するとき、 $\text{var}_2 = 0$ のときに影が全くない状態、 $\text{var}_2 = 1$ のときに影の領域が最も大きくなるように物体の大きさを変化させる。棒状の影とは異なり影が重ならないことが保証されるため棒状の影よりも高い密度で影を表示することができる。色を用いて var_1 も同時に表示する場合には式 (1)(2)(3) を用い $b = 0$ として同様の計算を行う。

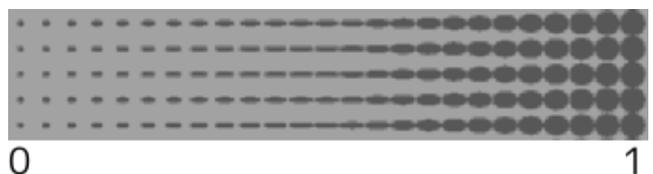


図 4 0 から 1 の値を表示した結果

3.3 二つの影を同時に表示する手法

色、陰、棒状の影、模様状の影を組み合わせ可視化を行う場合について考える。

棒状の影と模様状の影を組み合わせ表示する場合、光源を複数設置する必要がある。影の密度が異なり、地の色に与える影響が異なるため影の濃さも変化させる。密度の高い模様状の影は棒状の影よりも薄くなるように

光源の強さをそれぞれ調整する．最終的な色を計算する際には，それぞれの光源について 3.1 節と同様の計算を行い， $shade, shadow$ の値は次の式で計算される重み付き平均とする．ここで w_1, w_2 はそれぞれの光源の強さ， $shade_1, shade_2, shadow_1, shadow_2$ はそれぞれの光源に対する $shade, shadow$ の計算結果とする．

$$shade = \frac{w_1 shade_1 + w_2 shade_2}{w_1 + w_2} \quad (6)$$

$$shadow = \frac{w_1 shadow_1 + w_2 shadow_2}{w_1 + w_2} \quad (7)$$

3.4 パラメータと光源の設定

本提案手法には五つのパラメータ L, k, s, t, u が存在する．それぞれ地の色の明度，赤緑の色相変化，シェーディングによる明度の変化，影による明度の変化，シェーディングによる黄青の色相変化に関するパラメータである．これら五つのパラメータの調整によって可読性が変化する．地の色は影によって明度が下がるため L は大きめの値をとる． k は可能な限り大きな値を取ることが望ましいが L の値によっては表現できない色になり得ることを考慮する必要がある． s, t はともに明度の変化に関わるパラメータであるが，それぞれ異なる情報を示している． s を大きくすることで凹凸がはっきりと現れる． t を大きくすると影が濃くなり，模様状の影の読み取りが容易になるが地の色への影響も大きくなる． u は s とともに凹凸の読み取りやすさに影響を与える．強すぎると地の色への影響が大きくなるため適当な値を取る必要がある．

これらを考慮して $L = 70, k = 70, s = 20, t = 35, u = 20$ とし，棒状の影を発生させる光源が，模様状の影を発生させる光源の 1.25 倍の強さになるパラメータでの適用結果を示す．

4. 適用結果

可視化の対象は GSM(日本域) 客観解析データ ((財) 気象業務支援センター) の気象データである．気温を色で表示した結果を図 5(a)，風速を棒状の影と凹凸面の陰で表示した結果を図 5(b)，湿度を模様状の影で表示した結果を図 5(c) に示す．色，凹凸面の陰，棒状の影を組み合わせると気温と風速を示した結果を図 5(d)，色と模様状の影で気温と湿度を表示した結果を図 5(e)，色，棒状の影，模様状の影で気温，風速，湿度を表示した結果を図 5(f) に示す．

色，陰，棒状の影，模様状の影を用いて気温，風速，湿度を表示した結果を図 6 に示す．表示の条件は図 5 と同じである．棒状の影と模様状の影を別々に読み取ることは可能であるが，個々に表示した場合と比べると模様状の影の細かな変化を読み取りにくくなってはいるが，それぞれを独立して読み取ることが可能である．

5. まとめ

影と陰を使用することにより，地の色の読み取り易さを損なわずに情報の表示を試みた．凹凸面の陰と棒状の影の長さ太さよりそれぞれ局所的な変化と絶対的な値を表示した．影による色の変化と陰による色の変化を異なるものにすることによって，互いに影響を与えず表示することが可能になった．

従来手法と比べると棒状の影により，連続的に変化する模様からは読み取れない細かな値を読み取ることもできる，図 1 に示したような高さを利用した表現で生じる隠された部分も存在しない，模様状の影は QtonS よりも地の色への影響が少なく，階調も連続的であるため細かな変化も表示することが可能であるという利点があると考えられる．

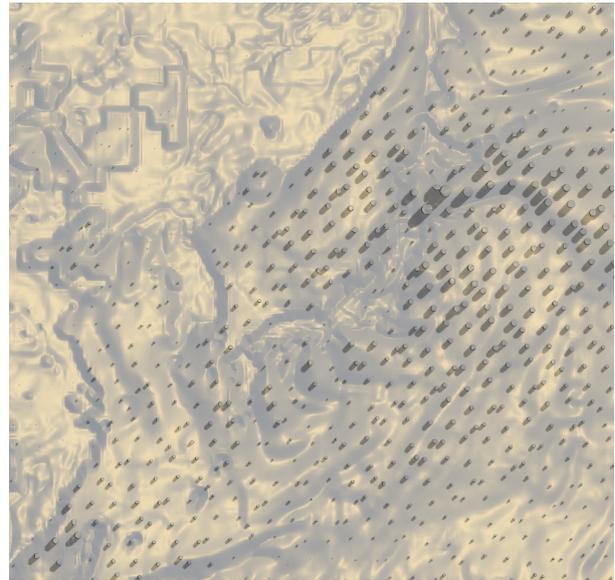
今後の課題としては棒状の影と模様状の影に類似する形状の部分が存在するため，異なる模様との組み合わせについて実験を行う必要がある．また，より適切なパラメータの設定を行うための実験，従来手法との比較と可読性に関する評価実験を行うことが挙げられる．また，影には指向性があるため，方向を利用した手法についても考慮する必要がある．

参考文献

- [1] H. Senay and E. Ignatius. A knowledge-based system for visualization design. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, Vol. 14, No. 6, pp. 36–47, nov 1994.
- [2] Pascal Mamassian, David C. Knill, and Daniel Kersten. The perception of cast shadows. *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 2, No. 8, pp. 288–295, August 1998.
- [3] Edward H. Adelson. Checkershadow illusion. http://web.mit.edu/persci/people/adelson/checkershadow_illusion.html.
- [4] Penny Rheingans. Task-based color scale design. In *Proceedings Applied Image and Pattern Recognition. SPIE*, pp. 35–43, 1999.
- [5] Haim Levkowitz. Color icons: merging color and texture perception for integrated visualization of multiple parameters. In *Proceedings of the 2nd conference on Visualization '91, VIS '91*, pp. 164–170, Los Alamitos, CA, USA, 1991. IEEE Computer Society Press.
- [6] Haleh. H. Shenan and Victoria Interrante. Compositing color with texture for multi-variate visualization. In *Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia, GRAPHITE '05*, pp. 443–446, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [7] C.G. Healey and J.T. Enns. Large datasets at a glance: combining textures and colors in scientific visualization. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, Vol. 5, No. 2, pp. 145–167, apr-jun 1999.
- [8] Victoria Interrante. Harnessing natural textures for multivariate visualization. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, Vol. 20, No. 6, pp. 6–11, November 2000.
- [9] Ying Tang, Huamin Qu, Yingcai Wu, and Hong Zhou. Natural textures for weather data visualization. In *Information Visualization, 2006. IV 2006. Tenth Inter-*



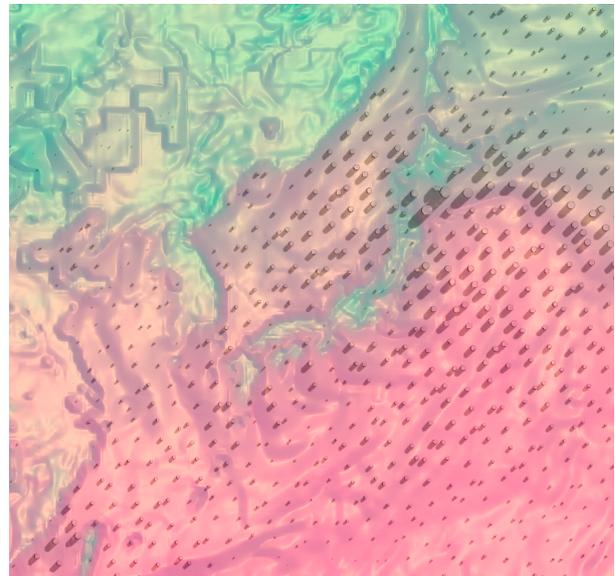
(a) 色だけの結果



(b) 陰と棒状の影による結果



(c) 模様状の影のみの結果



(d) 色, 陰, 棒状の影による結果



(e) 色と模様状の影による結果



(f) 色, 棒状, 模様状の影による結果

図 5 いずれも真上と右上からの平行光源を設置し, $L = 70, k = 70s = 20, t = 35, t = 20$ と設定した場合の結果である .



図 6 色，棒状の影，陰，模様状の影を組み合わせ表示した結果

- national Conference on*, pp. 741–750, July 2006.
- [10] Colin Ware. Quantitative texton sequences for legible bivariate maps. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 15, pp. 1523–1530, 2009.
- [11] Timothy Urness, Victoria Interrante, Ivan Marusic, Ellen Longmire, and Bharathram Ganapathisubramani. Effectively visualizing multi-valued flow data using color and texture. In *Proceedings of the 14th IEEE Visualization 2003 (VIS'03)*, VIS '03, pp. 16–, Washington, DC, USA, 2003. IEEE Computer Society.
- [12] Haleh Hagh-Shenas, Sunghee Kim, Victoria Interrante, and Christopher Healey. Weaving versus blending: a quantitative assessment of the information carrying capacities of two alternative methods for conveying multivariate data with color. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 13, pp. 1270–1277, 2007.
- [13] Amy Gooch, Bruce Gooch, Peter Shirley, and Elaine Cohen. A non-photorealistic lighting model for automatic technical illustration. In *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, SIGGRAPH '98, pp. 447–452, New York, NY, USA, 1998. ACM.
- [14] William T. Reeves, David H. Salesin, and Robert L. Cook. Rendering antialiased shadows with depth maps. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, Vol. 21, pp. 283–291, August 1987.