陰影からの形状復元技術を用いた化粧陰影の評価

今井 康博　　森山 剛　　小沢 慎治

慶應義塾大学理工学研究科開放環境科学専攻

〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

E-mail:　{yasu16, moriyama, ozawa}@ozawa.ics.keio.ac.jp

あらまし　人間が物体の奥行情報を得る手段の一つに，陰影がある．化粧はこの陰影を変化させ，人間が知覚する奥行情報を変化させる技術である．画像処理の分野では，画像の明度を用い，物体の陰影から 3 次元形状を復元する技術がある。よって，様々な化粧顔を撮影し，その顔画像の陰影から人間が知覚する擬似奥行分布を復元することで，化粧の変化が人間の知覚する奥行情報に与える影響を分析することが出来る．また，目は様々な化粧が行われる部位であり，多くの雑誌でその化粧法が提案されている．そこで本研究では，目に様々な化粧を行い，陰影から擬似奥行分布がどのように変化するか評価を行う．

キーワード　化粧，陰影からの形状復元，奥行分布，アイシャドウ

AN EVALUATION OF SHADING MAKE-UP USING SHAPE FROM SHADING TECHNIQUE

Yasuhiro IMAI　　Tsuyoshi MORIYAMA　and　Shinji OZAWA

Science and Technology, Keio University　3-14-1 Hiyoshi, Kouhoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 223-8522 Japan

E-mail:　{yasu16, moriyama, ozawa}@ozawa.ics.keio.ac.jp

Abstract　When we obtain 3D depth information, we use information of object shading by the one of means. Make-up is technique that changes “appeared” 3D depth information recognized by human beings and creates illusions by creating shading. So if we make an analysis of the effect that shading make-up gives to “appeared” 3D depth information, it is possible to support make-up. How to apply eye make-up appears in a lot of magazines and there is a variety of eye make-up techniques. In this paper, we quantify the “appeared” 3D depth around the eye using shape from shading, and evaluate variation of depth map when applying eye shadow.

Keyword　Make-up，Shape from shading，depth map，eye shadow

1. はじめに

人間は，物体の 3 次元形状を網膜に投影された 2 次元の網膜像に基づいて知覚し，元の 3 次元の奥行情報を復元している．この視覚の働きを立体視と言い，奥行情報を復元するために，様々な奥行の手がかりが用いられる．奥行情報を得る主な手段に，両眼立体視と単眼立体視がある．

両眼立体視は 2 台のカメラから得られた 2 つの画像間で同一物体を対応させ，三角測量の要領により，物体までの距離を求めるものである．奥行情報の知覚はステレオ視だけによって成立するものではない．片目の画像だけからでも人の視覚システムは対象物の形状を理解することが出来る.これを単眼立体視という．単眼立体視を可能にする視覚入力の中で有名なものの一つが陰影情報である．

ある物体を写した画像の濃淡には，その物体の 3 次元形状に関する豊富な情報がある．実際，人間は 1 枚の顔写真から人の目鼻立ちの奥行情報を知ることが出来る．一般に画像の 1 点の明度は，3 つの要素（照明，物体表面の反射特性，物体の形状）で決まる．この 3 要素は複雑に絡み合って画像の明度に寄与するため，画像の明度分布に対する形状の寄与分だけを独立に考え，そこから形状の情報を取り出すことは一般には難しい．物体表面の各点で，その点近くの照明条件と反射特性が分かっていれば，画像の明度は面の向きだけの関数として書け，画像の明度から面の向きに関する情報を取り出すことが出来る．このように，物体の 3 次元形状（奥行分布）の変化による画像の明度分布の変化が「陰影」である．

この陰影を一つの手段として，人間は様々な物体の奥行情報を得ている．しかし，陰影から奥行情報を知覚する人間の能力も完全ではない.陰影の変化により，

人間が知覚する奥行の見え方も異なる．顔の奥行情報の知覚おいても，陰影を用いている．よって，顔の陰影が変化することで，人が知覚する顔の奥行情報の印象も変化する．

顔の陰影を変化させる技術として，化粧がある．人間は顔に化粧を施すことで，人から見える顔の印象を変えている．化粧は顔の陰影を変化させ，人間が知覚する奥行情報を変化させる技術である．例えば，アイシャドウは，目元に陰影をつけて顔に表情を与え，目元を印象深く立体的に見せる役割を果たす．よって，化粧付加による陰影の変化が奥行情報に与える影響を分析することで，化粧支援に役立てることが出来る．

目は，様々な化粧道具を用いて化粧が施される部位である．目は特徴点を取得し易いため、領域抽出が容易であるという利点もある．よって，化粧をした目の陰影を分析する事で，化粧が 3 次元形状情報（奥行情報）に与える様々な効果を分析することができる．

現在，化粧支援として多くのメイクアップシミュレータが構築されている．しかし，化粧付加による陰影の変化が，人間の知覚する奥行情報に与える影響を考慮した研究は行われておらず，それを考慮した実践型の化粧支援も行われていない．化粧は，人からの「見え」を美しくしたいという思いから行われるものである．そのため，人からの「見え」に大きく影響を与える「陰影」を考慮することは，非常に重要なことである．そこで本研究では，化粧支援の一助となるよう，目に化粧を施し，化粧付加による陰影の変化が，人間が知覚する奥行情報に与える影響を分析する．

2. 目の化粧

化粧は，陰影を変化させ，見かけの奥行情報を繕う技術である．陰影を変化させる化粧には，アイシャドウがあり，目周辺に塗布する．一般には，図 1 の①，②，③のように上まぶた，目尻，下まぶたの領域に塗布されるが，その 3 領域に明確な境界はない．

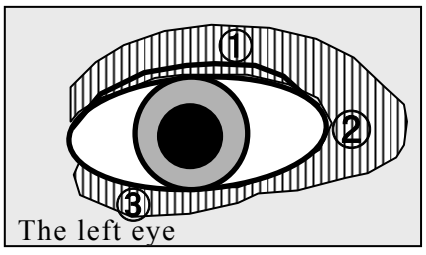


図 1．アイシャドウの塗布領域

Figure 1: The vertically striped pattern shows makeup area of eye shadow.
① is area of the upper eyelid.
② is area of outer corner of the eye.
③ is area of the lower eyelid.

アイシャドウは，このようにまぶたや目尻に塗布することによって陰影をつけるための道具である．目に深みや奥行を出して目元に立体感を与え，美しさを強調し，魅力的にする効果がある．

3. 手法

我々は，Tsai，Shahら[2]による「陰影からの形状復元（Shape From Shading = SFS)」を用い，目周辺の肌の擬似奥行分布を算出する．SFSは，画像の明度情報から物体の実際の奥行分布を算出するために提案された技術であるが，人間の知覚同様に化粧陰影により奥行情報が変化すると考えられる．本研究では，SFSを用い，化粧付加による擬似奥行分布の変化を算出する．手法の流れを図2に示す．入力は，目画像のRGB各成分である．

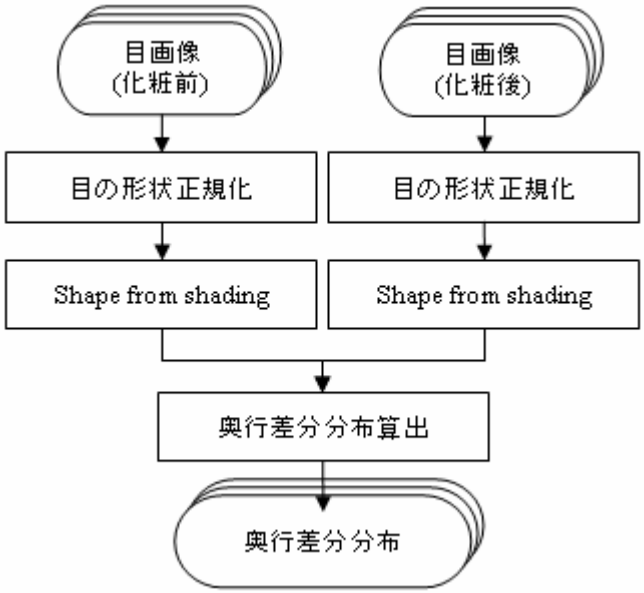
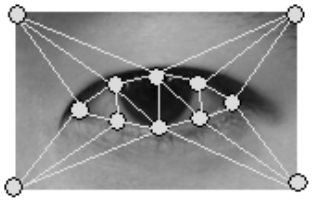


図2．本手法の流れ

Fig 2: Flow of our method

3.1. 目の形状正規化

図3に示すように，目の輪郭上の8点を手動で取得し，これらの8点と目画像の四隅の4点を用いて，画像を三角パッチに分ける．各三角パッチをそれぞれアフィン



変換し，目の形状を同じ形状（基準形状）にする．

図3．目の特徴点

Figure 3: Feature points of eye

3.2. Shape from shading (SFS)

Shape from shadingは，画像の明度情報を用い，入射光線に対する物体の表面の角度を推定し,物体の3次元形状を復元する手法である．面は，ランバート面（放射輝度が反射の方向によらず一定となる面)を仮定し，反射光の明るさは観測位置に依存しない．SFSには様々な方法[1]が提案されているが，今回，処理が簡単で理解し易く高速化が可能なTsai & Shah法（1994）[2]を用いた．

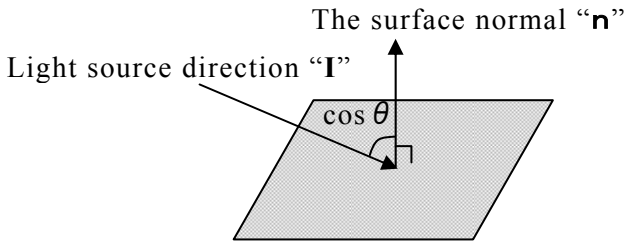


図4．光源方向と面の法線

Figure 4: Light source direction and the surface normal

図4のような光源方向**I**と面の法線**n**をそれぞれ，**I** = $(-p_s,-q_s,1)$ ， **n** = $(-p,-q,1)$とすると，座標(x,y)の画素値$E(x,y)$は，(1)式のようになる．

$$E(x,y)=\cos\theta=\frac{\mathbf{I}\bullet\mathbf{n}}{|\mathbf{I}||\mathbf{n}|}=\frac{1+pp_s+qq_s}{\sqrt{1+p^2+q^2}\sqrt{1+p_s^2+q_s^2}} \qquad (1)$$

ここで，pはx軸方向の面の傾き，qはy軸方向の面の傾きを示す．また，$E(x,y)$の値は，0から1の値へ正規化する．

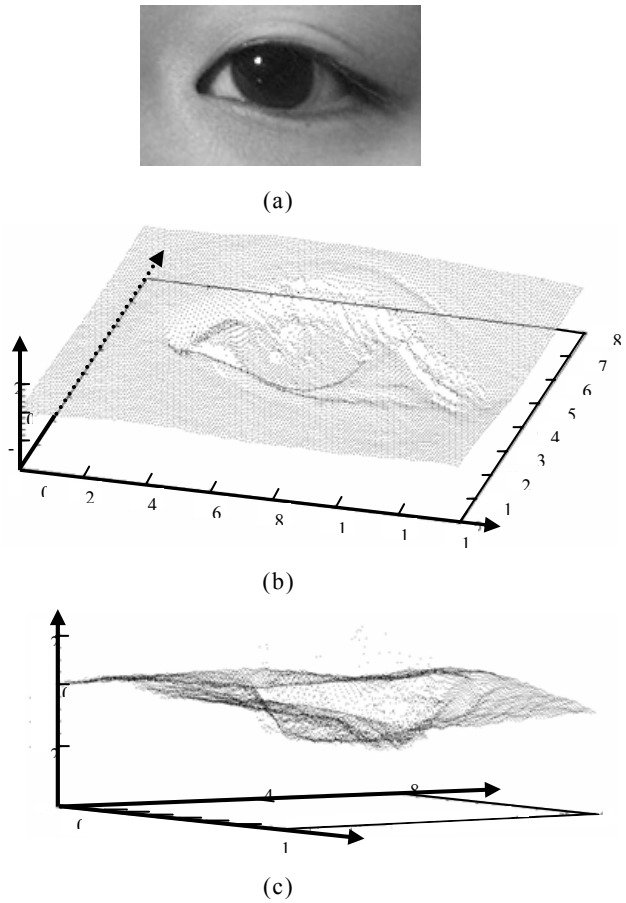
ある明度に対応した面の傾き(p,q)の組み合わせは無数にあり，解が一つに定まらない．そこで，面が滑らかに連続的に変化するという制約を加えて，(p,q)を算出する．ある画素の奥行をZとすると，p，qは奥行Zの偏微分で表され，隣の画素の奥行を用いてそれぞれ(2)，(3)式のように表すことが出来る．

$$p_{ij}=\frac{\partial z_{ij}}{\partial x}=z_{ij}-z_{i-1j} \qquad (2)$$

$$q_{ij}=\frac{\partial z_{ij}}{\partial y}=z_{ij}-z_{ij-1} \qquad (3)$$

ここで，z_{ij}は奥行値，iは画像のx座標，jは画像のy座標を示す．

図5に目のグレースケール画像とShape from shadingを用いて算出した擬似3次元形状（擬似奥行分布）を示す．



(a)

(b)

(c)

図 5．陰影からの形状復元

Figure 5: Shape from shading

(a) Gray-scale image of Eye.

(b) Top view of “appeared” 3D depth.

(c) Side view of “appeared” 3D depth.

3.3. 奥行差分分布算出

ここでは，化粧の変化による擬似奥行分布の変化を数値化する．セクション 3.1.のようにして，化粧前の擬似奥行分布 **d** と化粧後の擬似奥行分布 **d'**をそれぞれ算出する．そして，その奥行分布の差分を取り，(4)式のように奥行の差分分布 $\mathbf{d}_{\mathrm{diff}}$を算出する．これにより，化粧の変化による，擬似奥行分布の変化を数値化することができる．

$$\mathbf{d}_{\mathrm{diff}}=\mathbf{d}'-\mathbf{d} \qquad (4)$$

$\mathbf{d}_{\mathrm{diff}}$の要素が 0 より大きい場合，奥行が大きくなることを示し，$\mathbf{d}_{\mathrm{diff}}$の要素が 0 より小さい場合，奥行が小さくなることを示す．ここで，奥行が大きくなるとは，対象物と観測者の距離が近付くことを示し，奥行が小さくなるとは，対象物と観測者の距離が遠のくことを示す．

4. 実験と結果

化粧付加前と化粧付加後の目周辺の奥行分布を算出して，奥行差分分布を算出する．実験には左目周辺の画像を用い，画像サイズを 140×80pixel とした．斜め上方より蛍光灯を照射し，正面から撮影を行った．撮影の際，顔は無表情で，視線はカメラのレンズへ向けた．撮影した画像は，目尻と目頭を結ぶ直線が水平になるよう回転させ，目の傾きを正規化した．さらにその後，セクション 3.1.による方法で目の形状の正規化を行った．また，化粧は白や黒の色だけでなく、様々な色を塗布するため，単純にグレースケールの明度により奥行分布を算出するのではなく，RGB 各成分を用い，各成分の画素値からそれぞれ奥行分布を算出した．奥行の値は，画像左下の原点を 0 とし，それを基準に奥行分布を数値化した．

化粧付加前の擬似奥行分布と化粧付加後の擬似奥行分布の奥行差分分 z 布の表示は，奥行差分の数値を明度に対応させてグレースケール画像で表示するため，0 から 255 の間に正規化し，奥行差分が無い場合の明度を 0 とした．また，化粧を付加していない領域でも撮影ごとに奥行の変動が現れるため，化粧により変動することのない，目の内側の領域（黒目や白めの領域）の奥行差分値は 0 として表示する．

次のセクション 4.1, 4.2, 4.2 では，アイシャドウを塗布し，RGB 各成分で奥行差分分布を算出した結果を示す．各セクションの図は，左から順に化粧前の目画像，化粧後の目画像，奥行差分分布のグレースケール表示結果を示している．

4.1. 下まぶたへの白いアイシャドウ

下まぶたへ白のアイシャドウを塗布した結果を図 6 に示す．図 6 の(a), (b), (c)にそれぞれ表示されている各 3 枚の画像は，左から順に，化粧前の色成分，化粧後の色成分，化粧前後の各色成分より算出した奥行分布の差分（奥行差分分布）を示す．



(a) R 成分



(b) G 成分



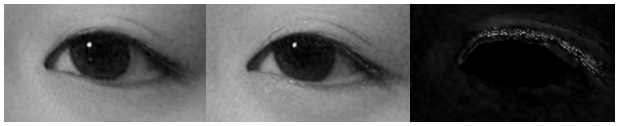
(c) B 成分

図 6．下まぶたへの白いアイシャドウ
Figure 6: White eye shadow to the lower eyelid

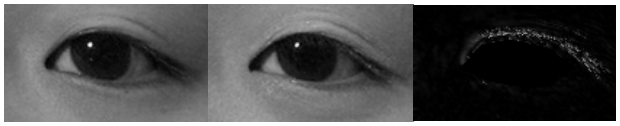
R, G, B の各成分，特に G，B の成分で，下まぶたの奥行に変化が現れ，化粧の効果が現れた．また，化粧をしていない上まぶたの部分の奥行も変化しているが，これは，セクション 3.1.で目の形状の正規化を行う際，手動で選んだ 8 点のずれが影響したと考えられる．

4.2. 上まぶた，目尻への青いアイシャドウ

上まぶた，目尻へ青いアイシャドウを塗布した結果を図 7 に示す．図 7 の(a), (b), (c)の各 3 枚の画像は，左から順に，化粧前の色成分，化粧後の色成分，化粧前後の各色成分より算出した奥行差分分布を示す．



(a) R 成分



(b) G 成分



(c) B 成分

図 7．上まぶた・目尻への青いアイシャドウ
Figure 7: Blue eye shadow to the upper eyelid, and the outer corner of the eye

.

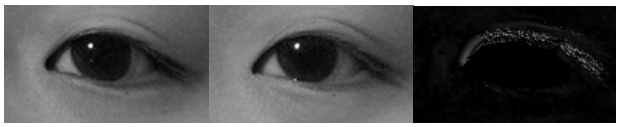
R, G, B の各成分で上まぶた，目尻の奥行が大きくなり，化粧の効果が現れた．とくに B 成分で効果が現れているが，これは，ブルーのアイシャドウを塗布したためであると考えられる．セクション 4.1 同様に，目の形状の正規化を行う際のずれによる奥行差分が上まぶたに現れている．

4.3. 上まぶた，目尻へのピンクのアイシャドウ

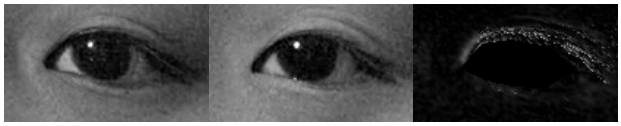
上まぶた，目尻にピンクのアイシャドウを塗布した結果を図 8 に示す. 図 8 の(a), (b), (c)の 3 枚の画像は，左から順に，化粧前の色成分，化粧後の色成分，化粧前後の各色成分より算出した奥行差分分布を示す.



(a) R 成分



(b) G 成分



(c) B 成分

図 8. 上まぶた，目尻へのピンクのアイシャドウ

Figure 8: Pink eye shadow to the upper eyelid, and the outer corner of the eye.

R, G, B の各成分で，アイシャドウを塗布した部位における奥行の変化が見られた．特に B 成分で，上まぶた，目尻ともに，奥行の変化が大きい. セクション 4.1, セクション 4.2 と同様に，目の形状の正規化を行う際のずれによる奥行差分が上まぶたに現れている.

5. 結論

Shape from shading を用い，化粧を付加した目画像から擬似 3 次元形状（擬似奥行分布）を取得した．目に化粧を塗布し，RGB 各成分の値を用いて，Shape from shading を行うことで，化粧による陰影の変化が，肌の擬似奥行分布へどのような影響を与えるか示した.

6. 今後の展望

今回，化粧が肌へ陰影を付加し，擬似奥行分布を変化させることがわかった．今後は，塗布する化粧の量と擬似奥行分布の変化との対応関係を詳細に評価すると共に，顔全体を含むより多くの部位に対して化粧を塗布し，擬似奥行分布の変化を分析する.

また，今回は，単純に奥行分布間の差分を算出することで，化粧による奥行分布の変化を評価したが，このような単純な評価だけでは人の目で見えている違いを正確に評価出来ていない可能性がある．そこで，今後は，化粧による変化をより正確に評価する方法についても検討する.

さらに，擬似奥行分布の差分情報を用い，化粧をする人が自分の目標とする化粧に近づけるために，どの部位にどの化粧を塗布するか提案する化粧支援システムの構築を目指す.

文　献

[1] Ruo Zhang, Ping-Sing Tsai, James Edwin Cryer and Mubarak Shah, “Shape from Shading: A Survey”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*,v.21 n.8, p.690-706, August 1999

[2] Ping-Sing Tsai, and Mubarak Shah, “Shape From Shading Using Linear Approximation”, *Image and Vision Computing Jounal*, 12 No.8, pp. 487-494, October 1994

[3] 五味 広美，佐々 修一，山口 功，二宮 哲次郎，濱田吉郎，“Shape from shading による月平坦地の実時間検出”，独立行政法人航空宇宙技術研究所報告，no. NAL TR-1447，東京，August 2002

[4] 波川 千晶，高木 佐恵子，吉本 富士市，”実践型の 3 次元メイクアップアドバイスシステム”，Visual Computing グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2003 予稿集，pp. 81-8，北九州，June 2003

[5] bea’s UP, 越澤明彦（編）, 株式会社ベルシステム，東京，2006