

イラストの眼におけるハイライトの適性位置への配置

濱崎 日菜子^{2,a)} 山西 良典^{1,b)} 仲田 晋^{2,c)}

概要：本稿では、イラストのキャラクターの眼の適性位置にハイライトを配置する手法を提案する。ハイライトとは、眼球の黒目に映り込む光源のことであり、現実世界では物理法則に従って位置が決まる。しかしながら、イラスト描画では光源の位置よりもキャラクターの性格や意図、作品の描画特性を考慮してハイライトが配置されることが多く、現実世界にはないイラスト独特の法則性を理解した描画が必要となる。本稿では、眼の描画パターンを「黒目のみ」「黒目と白目」「黒目と白目、瞳孔」の3種類に分類し、各パターンそれぞれでのハイライト適性位置をデータ分析と主観評価によって調査する。提案手法では、これらの分析結果をもとに、数理的なアプローチで、ハイライトを適性位置に配置する。本稿で述べる知見と提案技術は、イラストにおけるキャラクターの画竜点睛の支援として活用されることが期待される。

1. はじめに

ソーシャルメディア上でのイラストやイラストの描き方の共有は、イラスト描画をより身近な能動的エンタテインメントとした。人物イラストを描画する場合、人体構造や骨格やアタリの取り方、顔のパーツの位置関係、パーツごとの描き込みや陰影のつけ方といった知識が必要となる。これらの情報は、様々な文献やウェブサイトを提供されており、独学でイラスト描画を学べる環境が充実している。例えば、年齢や性別ごとの人物の描き分け [1]、表情やキャラクターの性格による顔の描き分け [2]、角度に応じた顔の描き分け [3] といった基本から応用までの様々な描画法についての文献が用意されている。

情報科学分野でも、作画支援を目的とした研究が行われており、様々な作画支援ツールが提案されている。Looi and Green [4] は、正面顔画像から特徴点を抽出し、アタリの横線、縦線、円を推定している。村津ら [5] は、1枚の顔画像の特徴点座標から補間式を生成して標準顔回転モデルを構築することで、様々なキャラクターの任意の角度の顔画像を生成する手法を提案している。また、イラストの創作支援のみならず、イラストの評価も研究課題として取り組まれている。山田ら [6] は、ユーザが模写したアニメキャラクター画像を入力として、どれほど正確に模写できたかを評価するシステムを提案した。初心者と熟練者のイラスト描画時における視線の違いを分析した研究も存在し、広川と松

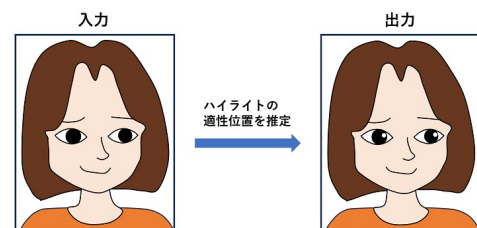


図 1 研究の最終目標のコンセプト

下 [7] は熟練者のみスケッチ対象によっては注視時間が短くなることを明らかにした。また、デジタル作画時に試行錯誤の過程の消し跡を表示させることで描画能力の向上をねらった研究 [8] もある

本稿では、作画支援の中でも、キャラクターの眼のハイライトの適性位置への配置に取り組む。図 1 に示すように、ハイライトが入っていない眼で描かれたキャラクターの顔イラストを入力すると、キャラクターの黒目の適切な位置にハイライトを描画するシステムの構築を最終目的とする。

2. 課題設定

キャラクターの眼は性格や感情、イラストの画風を最も端的に表現可能な顔パーツの1つである [9]。しかしながら、眼のハイライト位置は人体構造のように明確な法則性はない。この自由度の高さがキャラクターの印象や作品の差別化・独自性を操作可能にしているとも言える。眼のハイライト位置はキャラクターの顔のクオリティや印象を左右する重要な要素であり、文字通り画竜点睛のポイントとなる。そのため、ハイライトの適性位置についての数理的な説明は、イラスト描画のクオリティ向上や描画支援につ

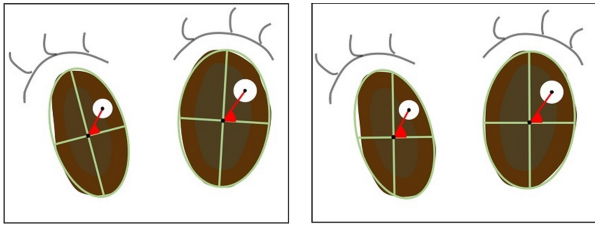
¹ 関西大学

² 立命館大学

a) is0519xp@ed.ritsumei.ac.jp

b) ryama@kansai-u.ac.jp

c) snakata@is.ritsumei.ac.jp



(a) 楕円で近似された各黒目の主 (b) 両眼で同一の座標系 (i.e, 両軸をそれぞれ座標系とした場合 眼座標系) を用いる場合

図 2 両眼の同位置への配置に用いる 2 種類の座標系

ながる知見として活用可能であると期待される。また、画像生成 AI や画風変換における眼のハイライト位置の unnatural の解決にもつながると考える。

眼のハイライトとは、眼球の黒目に映り込む光源の反射を示す。現実世界では、光源の光が直角に当たる最も明るい点がハイライトとなる。つまり、光源に近い位置にハイライトが配置されるため、人物に向かって左上に光源がある場合は黒目の左上に、右上に光源がある場合は黒目の右上にそれぞれハイライトが配置される。加えて、左右の眼は同形状で同一状況下であるため、両眼で相対的な同位置にハイライトが配置されることが物理法則に従って定まる。しかしながら、イラストにおいては、現実世界と同一のルールではハイライトが描かれず、描画者や作品、キャラクターに応じてハイライトの位置の法則性は異なる。例えば、「光源方向によらず常にハイライト位置は一定」「視線の反対方向にハイライトが配置される」「ハイライト位置はランダム」といったパターンが見られる。ただし、いかなるパターンでも両眼で相対的な同位置にハイライトが配置されるというルールは守られており、これは現実世界とイラストで共通している。

本稿では、イラストの眼におけるハイライトの適性位置への配置を、以下の 2 種類の課題に分解・整理して取り組む。

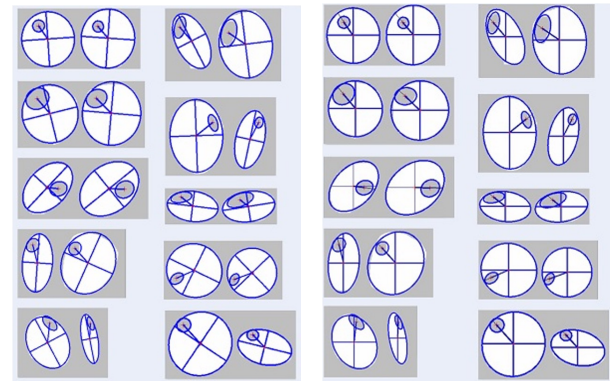
課題 1 ハイライト位置を制御するための座標系とパラメータはどのようにすべきか？

課題 2 イラストにおける眼の描画パターンに応じたハイライトの適性位置はどこか？

課題 1 に対しては、両眼でハイライト位置は相対的な同位置に配置されるという性質を利用して、ハイライト位置を制御する座標系とパラメータを実験的に確認する。課題 2 に対しては、データ分析と主観評価実験を通して一般的に受け入れられるハイライトの適性位置を明らかにし、数理的なアプローチでの適性位置への配置手法を提案する。

3. 課題 1：ハイライト位置を制御する座標系とパラメータの特定

キャラクターごとに黒目とハイライトの形状が異なる状態では、多様なキャラクターを対象とした普遍的な分析は



(a) 楕円で近似された各黒目のそ (b) 両眼で同一の座標系 (i.e, 両それぞれの主軸を座標系とした場 眼座標系) を用いる場合の分析結果

図 3 各座標系での黒目とハイライト位置の分析結果

難しい。そこで、人体の眼球運動のシミュレーション [10] と同様に、OpenCV の fitEllipse(楕円フィッティング) を用いて黒目とハイライトを楕円で近似する。一般的に、任意の座標系における位置は、角度と距離によって同定可能であることが知られている。そこで本課題を、1) 角度と距離はイラストにおける眼のハイライト位置の制御パラメータとして利用できるか、2) どのような座標系を用いるのか、といった小問に分解する。これらの小問について、左右の眼でハイライトは相対的な同位置に配置されるという性質を利用して、実験的に確認する。

まず、両眼の同位置にハイライトが配置された、異なる作者によって描かれた複数のキャラクターのイラスト画像を用意する。次に、画像内の黒目部分だけを切り取り、黒目とハイライトを楕円で近似する。そして、黒目とハイライトの中心間の距離と各座標系での水平軸に対する角度 (i.e., ハイライト角度) を計測する。ここで、角度計算に用いる座標系として図 2 に示すように、(a) 楕円で近似された各黒目のそれぞれの主軸、(b) 両眼で同一の座標系 (以下、両眼座標系) の 2 種類を検討する。各座標系のどちらが、両眼間で黒目とハイライトの中心間距離とハイライト角度が類似するのを確認する。距離については、黒目の中心から端までを 100% として、相対的に何%の位置にハイライトが配置しているのかによって表現し、左右の眼の大きさの違いによらない値を用いる。

本稿では、左右の眼の形状やサイズが大きく異なる様々な顔角度のイラスト 8 枚、例外的なイラスト 2 枚の計 10 枚を分析した。図 3(a) に示す楕円で近似された各黒目の主軸をそれぞれ座標系とした場合には、左右の眼でハイライト角度の差の平均値が 24.209° であった。それに対して、図 3(b) に示す両眼座標系を用いる場合は、左右の眼でハイライト角度の差の平均値が 9.023° であった。ハイライトは相対的な同位置に配置されるという性質を考えると、両眼のハイライト角度の差が小さい座標系ほどハイライト位

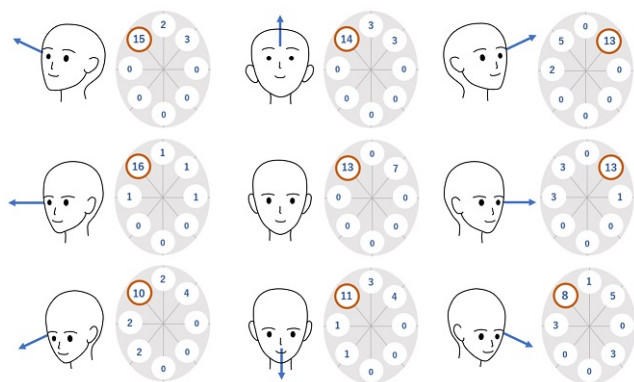


図 4 B パターンの既存キャラクターにおけるハイライト位置の調査結果。図中の数字は、それぞれの顔方向で黒目の該当位置にハイライトが配置されていた件数を示す。最も件数が多かった位置を橙色で示す。

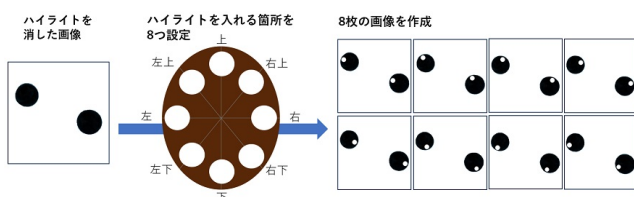


図 5 B パターンにおけるハイライト位置の主観評価用画像。顔のアタリと眼の部分のみを掲載。実験では、既存キャラクターの顔を提示してハイライトの位置を評価させた。

置を同定するうえで有用であると考えられる。また、黒目とハイライトの中心間距離の両眼での差の平均は 5.189% であり、両眼で黒目からハイライトまでの相対的な距離は概ね等しい範疇にあることが示された。以上の分析から、本稿ではハイライトの位置を制御するためには両眼座標系を用いる。そして、同一の座標系でのハイライト角度と黒目とハイライトの中心間距離を用いることで、眼の描画パターンに応じたハイライトの適性位置を分析・推定する。

4. 課題 2：眼の描画パターンに応じたハイライトの適性位置の分析・推定

3 節で明らかにした座標系とパラメータを用いてハイライトの適性位置を分析・推定する。キャラクターの性格や作品の絵柄によってハイライトの適性位置は異なる可能性があるため、イラストの眼の描かれ方を分類する。第 1 著者が複数のキャラクターの眼の描画を観察したところ、大きく「黒目のみ（以下、B）」「黒目と白目（以下、BW）」「黒目と白目、瞳孔（以下、BWP）」の 3 種類に分類することがわかった。これら 3 種類の描画パターンに応じたハイライトの適性位置について数理的に分析し、適性位置への配置手法を提案する。

4.1 B パターン

B パターンにおけるハイライトの適性位置を推定するために、データ分析と主観評価によって調査する。調査結果

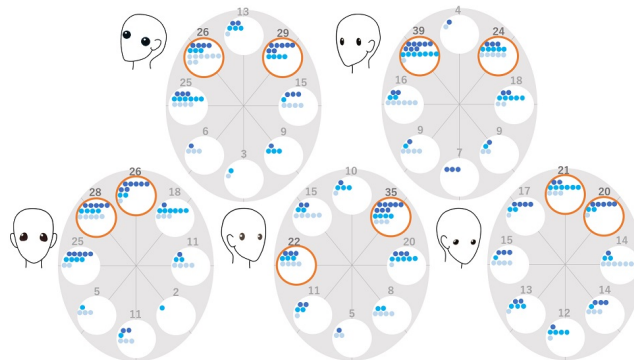


図 6 黒目のみの描画パターンにおけるハイライト位置の主観評価結果。画像中の 8 方向の領域に投票結果をドットで示す。ドットの色は濃青 1 位、水色 2 位、薄水色 3 位をそれぞれ示す。顔のアタリと眼の部分のみを掲載。実験では、既存キャラクターの顔を提示してハイライトの位置を評価させた。

にもとづいて、ハイライトを適性位置に配置する手法を提案する。

4.1.1 B パターン：データ分析と主観評価による調査

20 種類の黒目のみで眼が描かれたキャラクターそれぞれに対して、上下左右 8 方向に正面を加えた合計 9 種類の顔方向の画像を用意し、ハイライト位置を調査した。図 4 に、調査結果を示す。同図から顔方向が正面、上、下、左、左上、左下の場合は左上に、顔方向が右、右上、右下の場合は右上にそれぞれハイライトが多く配置されていることがわかる。

主観評価によっても感性的に妥当なハイライト位置を調査した。ハイライトの位置のみが異なるイラストを複数枚用意し、21 名の評価者に感性的に惹かれる画像を選択させた。評価対象とする画像の用意では、まず、B パターンのキャラクターのイラストを収集し、描かれているハイライトを画像編集によって除去した。つぎに、OpenCV の circle（円の描画）によって、除去した本来のハイライトと同等のサイズの白円を黒目領域の様々な位置にハイライトとして描画した。ハイライトの位置は黒目領域を上下左右 8 分割し、図 5 に示すように、1 キャラクターにつきハイライト位置を変更した画像 8 枚を作成した。本稿では、作者の異なる 5 キャラクターを用意して調査した。これらのキャラクターの顔の向きは左上、左、正面、右、右下とすべて異なっている。評価者には、各キャラクターにつき 8 枚中で感性的に惹かれる上位 3 件（順位の重複なし）を選出させた。図 6 に、調査結果を示す。同図から、全体的に黒眼の下半分に配置されたハイライトは好まれない傾向が見られる。1 位：3 点、2 位：2 点、3 位：1 点として評価結果を集計すると、全 5 キャラクターにおいて左上あるいは右上へのハイライト配置が投票結果の上位 2 までに評価されていた。特に、顔の左右と同方向上部に配置された場合に最も高い評価が得られており、キャラクターの顔方向と合致した方向上部へのハイライト配置が好まれる傾向にあ

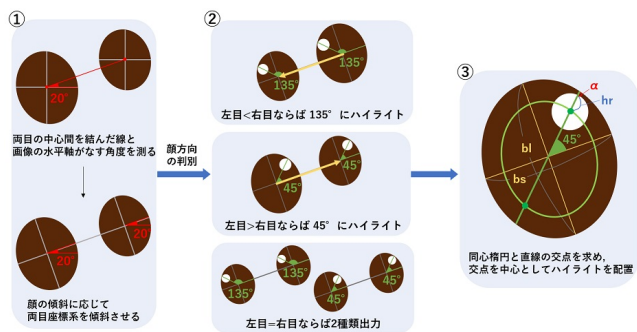


図 7 B パターンにおけるハイライトの適性位置への配置手法

ることが示唆された。

以上の結果から、既存のキャラクターでの描画および主観的な評価において顔方向と同一方向の上部がハイライトの適性位置であることが示唆された。これを配置規則としてまとめると、9種類の顔方向を左側(左上, 左, 左下), 正面(上, 正面, 下), 右側(右上, 右, 右下)に3分類し, それぞれ左上, 左上または右上, 右上がハイライト適性位置と言える。

4.1.2 B パターン: ハイライトの適性位置への配置

ハイライトを適性位置に配置するためには, 1) 顔の左右方向の判別, 2) 顔の傾斜に応じた両眼座標系の調整が必要となる。顔の左右方向の判別には, 左右の眼の大小関係を利用する。イラストでは, 左右のうち画面前面に対して近距離にある眼が大きく描かれる。そこで, 両眼のサイズを比較して, 左眼 < 右眼の場合は左側, 左眼 = 右眼の場合は正面, 左眼 > 右眼の場合は右側と判断する。ここで, 黒目を楕円で近似した場合の両眼の短軸および長軸の差が2ピクセル以下となる場合に, 左眼 = 右眼が成立するとみなした。顔の傾斜に応じた両眼座標系の調整では, 両眼の中心を結んだ線が画像の水平軸となす角度を顔の傾斜として扱う。両眼の中心を結んだ線と両眼座標系の水平軸が一致するように座標系を傾斜させる。これにより, 様々な顔方向や顔の傾斜に対応したハイライトの配置を実現する。

図 7 に, 黒目のハイライト適性位置への配置手法を示す。まず, 両眼の中心を結んだ線に合わせて両眼座標系を傾斜させる。つぎに, 両眼の大小関係を比較し, 顔方向を判別する。顔方向が右側の場合には $\pi/4$, 左側の場合には $3\pi/4$, 正面の場合には $\pi/4$ と $3\pi/4$ の2種類をそれぞれ両眼座標系におけるハイライトの適性角度とする。ハイライトの半径と黒目の短軸, 長軸をそれぞれ hr と bs , bl とする。ここで, hr は $0 < hr < bs$ を満たす任意の値とする。つぎに, 短軸を $bs - 2(hr + \alpha)$, 長軸を $bl - 2(hr + \alpha)$ とする黒目の同心楕円を描画する。 α はピクセルの値とし, 値域は $[1, 3]$ とする。これにより, ハイライト部が黒目の外側に描画されることを防ぐ。この黒目の同心楕円と両眼座標系の原点から適性角度で黒目の円周に引かれる直線との交点を算出し, この交点を中心としてハイライトを配置

表 1 BW パターンの既存キャラクターにおけるハイライト位置の調査結果。数値は, 100 件中の各領域での観測件数。

左	11	左上	43	上	15	右上	15
右	7	右下	3	下	1	左下	5

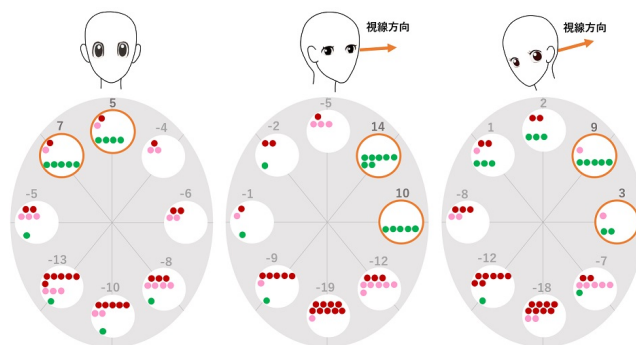


図 8 BW パターンのハイライト位置についての主観評価結果。画像中の 8 方向の領域に投票結果をドットで示す。ドットの色は赤が違和感を覚える, 緑が最も好み, ピンクが違和感はないが好みではない, をそれぞれ示す。顔のアタリと眼の部分のみを掲載。実験では, 既存キャラクターの顔を提示してハイライトの位置を評価させた。

する。

4.2 BW パターン

4.1 節と同様に, データ分析と主観評価によって BW パターンにおけるハイライトの適性位置を調査する。また, 調査結果にもとづいてハイライトを適性位置に配置する手法を提案する。

4.2.1 BW パターン: データ分析と主観評価による調査

BW パターンで描かれた 100 種類のキャラクターの正面画像を収集し, ハイライトの位置を調査した。表 1 に, 調査結果を示す。同表から, 正面顔では黒目の上部(左上, 上, 右上)にハイライトが配置されているケースが多く確認された。

主観評価では, 顔方向および作者が異なる BW パターンの 3 キャラクターの画像を用意した。4.1.1 節と同様に, 各キャラクターについてハイライト位置が異なる 8 枚の画像を用意し, 12 名の評価者に 1) 違和感を覚える画像はどれか, 2) 最も好みの画像はどれか, 3) 違和感以外に好みではない画像はどれか, の 3 問を回答させた。各問には, 複数回答および無回答を許可した。図 8 に, 調査結果を示す。4.1.1 節と同様の点数付けを行って分析したところ, 視線方向と適性なハイライト位置におおよそ一致が見られた。

正面顔に対するデータ分析の結果と 3 種類の異なる視線方向の顔画像に対する主観評価の結果から, BW パターンの場合, 視線方向や視線と同一方向の上部がハイライトの適性位置と示唆された。次節では, この調査結果をもとに, ハイライトの適性位置への配置方法を提案する。

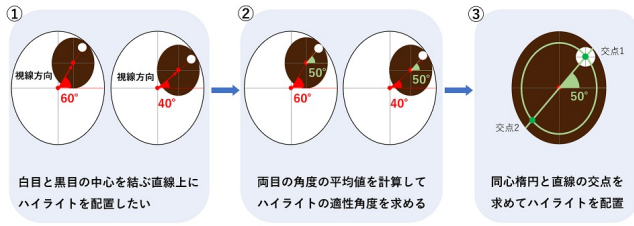


図 9 BW パターンにおけるハイライトの適性位置への配置手法

表 2 BWP パターンの既存キャラクターにおける瞳孔とハイライトの内角の調査結果. 数値は 70 件中の各角度帯の観測件数.

$0-\pi/9$	3	$\pi/9-2\pi/9$	2	$2\pi/9-\pi/3$	6
$\pi/3-4\pi/9$	7	$4\pi/9-5\pi/9$	7	$5\pi/9-2\pi/3$	3
$2\pi/3-7\pi/9$	12	$7\pi/9-8\pi/9$	13	$8\pi/9-\pi$	17

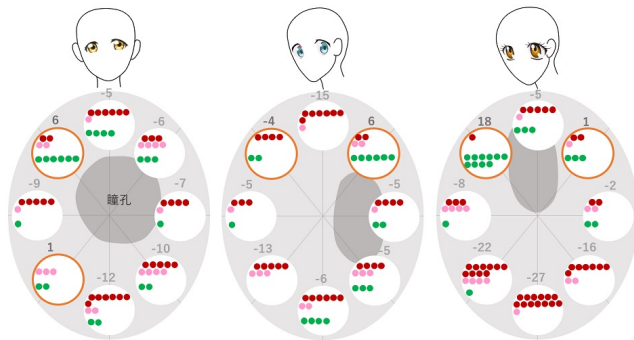


図 10 BWP パターンの既存キャラクターにおけるハイライト位置の調査結果. 画像中の 8 方向の領域に投票結果をドットで示す. ドットの色は赤が違和感を覚える, 緑が最も好み, ピンクが違和感はないが好みではない, をそれぞれ示す. 顔のあたりと目の部分のみを掲載. 実験では, 既存キャラクターの顔を提示してハイライトの位置を評価させた.

4.2.2 BW パターン：ハイライトの適性位置への配置

図 9 に, BW パターンにおけるハイライトの適性位置への配置手法を示す. 黒目と白目で眼が描画される場合, 視線方向は白目に対する黒目の相対位置によって定まる [11]. この知見を利用すると白目と黒目の中心を結ぶ直線が視線方向となるため, この直線がハイライトの適性角度となる. ここで, 両眼での統一性を図るため, 座標系と白目と黒目を結ぶ直線からなる角度について両眼の平均値を適性角度とした. 黒目内へのハイライトの描画は, 4.1.2 節に示した B パターンと同様に行う.

4.3 BWP パターン

4.1 節および 4.2 節と同様に, データ分析と主観評価によって BWP パターンにおけるハイライトの適性位置を調査する. また, 調査結果にもとづいてハイライトを適性位置に配置する手法を提案する.

4.3.1 BWP パターン：データ分析と主観評価による調査

BWP パターンで描かれた 70 種類のキャラクター画像を収集し, 瞳孔とハイライトの位置関係を調査した. 調査では, 両眼座標系における黒目の中心を原点とした瞳孔の

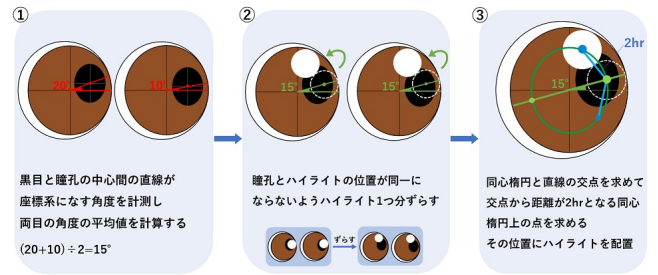


図 11 BWP パターンにおけるハイライトの適性位置への配置手法

中心とハイライトの中心の内角 ($0 < \theta < \pi$) を計測した. 表 2 に, 調査結果を示す. 内角 θ が 0 の場合は瞳孔と同方向, π の場合は瞳孔と正反対の角度にハイライトが配置されていることを示す. 調査の結果, 多くのキャラクターで瞳孔と反対方向付近にハイライトが配置されていることが確認された.

主観評価では, 顔方向と作者が異なり, 黒目と白目, 瞳孔によって眼が描かれた 3 種類のキャラクター画像を用意し, 15 名の評価者に 4.2.1 節と同様の評価をさせた. 図 10 に調査結果を示す. 主観評価では, 瞳孔付近と黒目の上部にハイライトが配置されているものが好まれる傾向にあった.

BWP パターンでは他のパターンとは異なり, 既存キャラクターに対するデータ分析と主観評価では異なる結果が得られた. 本稿では, このうち感性的な妥当性に着目し, 瞳孔付近へのハイライト配置手法を提案する. 2 種類の調査間での結果の違いについての議論は今後の課題としたい.

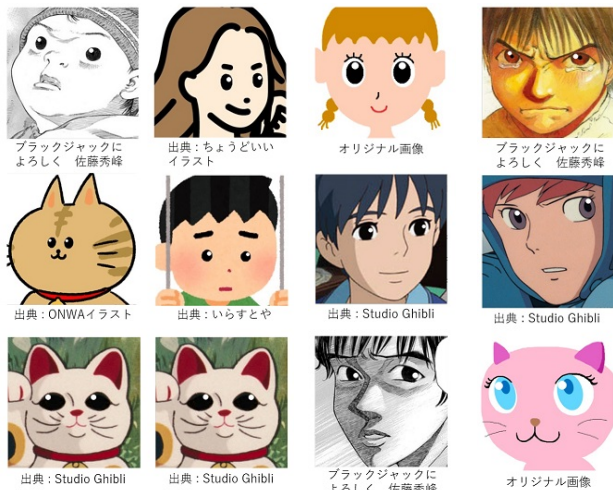
4.3.2 BWP パターン：ハイライトの適性位置への配置

図 11 に, BWP パターンにおけるハイライトの適性位置への配置手法を示す. 4.2.2 節に示した BW パターンに対する手法と同様に, 黒目と瞳孔の中心間の直線が座標系になす角を計測して両眼間の平均値を求めれば, 瞳孔と同角度にハイライトを配置可能である. 瞳孔とハイライトが同一地点に配置されることは避けたいため, ハイライトの位置をハイライト 1 つ分左にずらして描画する. ここで, ハイライトの描画位置の候補は左右 2 種類考えられるが, 4.3.1 節での調査結果から黒目の上部への配置がより好まれる傾向にあったため, 画像の垂直軸と水平軸の座標系における Y の値が大きくなる位置を適性位置とした.

5. ハイライト配置の妥当性検証

4 節で提案した各手法によって, イラストの眼にハイライトを配置することで妥当な出力結果が得られるかを検証した. 本検証では, 4 節で実施した各主観評価に利用したハイライトを除去した画像を用いた.

B パターンに対して提案手法によってハイライトを配置した結果, 4.1.1 節の主観調査で好まれたハイライト位置の上位 2 件と比較すると, 5 枚中 3 枚が最も好まれたハイライト位置と一致し, 残り 2 枚は次点のハイライト位置と



(a) B パターンへの提案手法の適用例 (b) BW パターンへの提案手法の適用例 (c) BWP パターンへの提案手法の適用例

図 12 提案手法による各パターンの眼へのハイライトの配置例

一致した。BW パターンに対して提案手法によってハイライトを配置した結果、4.2 節の主観調査で最も好評であった画像と比較すると、ほぼ同位置にハイライトを配置できていることがわかった。BWP パターンに対する提案手法でハイライトを配置した結果、4.3.1 節の主観調査で最も好評であった画像と比べると、ほぼ同位置にハイライトが配置されていた。4.3.1 節のデータ分析では、瞳孔と正反対の位置へのハイライト配置が多かったため、BW パターンでのアレンジと同様に提案手法に従って瞳孔の正反対の位置にハイライトを配置してみた。その結果、3 枚中 1 枚は主観評価において違和感を覚えると評価された位置にハイライトが配置されてしまった。このことから、BWP パターンへの提案手法は、感性的にネガティブに評価されにくい安定的な位置にハイライトを配置可能であることが示唆された。

以上から、各パターンに対する提案手法すべてにおいて、適性位置へとハイライトを配置可能であることが確認された。図 12 に、各描画パターンへの提案手法によるハイライト配置の結果を示す。3 種類の手法を使い分けることで、様々な眼の描画パターンに対応してハイライトを配置可能であることが期待される。

6. おわりに

本稿では、イラストの眼におけるハイライトの適性位置を調査・分析し、数理的な規則に従ってハイライトを配置可能にする手法を提案した。提案手法では、眼の描画パターンを 3 種類に分類し、それぞれのパターンに応じてハイライトの適性位置へ配置した。提案手法によって配置されたハイライトの位置は、主観評価によって高く評価されたハイライト位置とおおよそ一致する結果となった。

今後は光源位置の違い（特に、コンピュータなどを操作している場面の様に光源が顔の下部にある場合など）によるハイライトの適性位置を分析し、対応するハイライト適性位置を考えたい。また、キャラクターの性格や表情に応じたハイライトの適性位置の推定にも取り組みたい。

謝辞 本文中では例示のため、スタジオジブリ (<https://www.ghibli.jp/info/013381/>)、佐藤秀峰氏のブラックジャックによろしく、いらすとや (<https://www.irasutoya.com/>)、ONWA イラスト (<https://onwa-illustr.com/>)、ちょうどいいイラスト (<https://tyoudoii-illustr.com/>) のイラストを引用させて頂いた。本研究は、一部、科研費 JP22K12338 の支援のもと実施された。記して謝意を表す。

参考文献

- [1] アンドリュール・ミス：やさしい人物画，マール社 (1976). 北村孝一 訳.
- [2] サイドランチ：最高のイラストを作り出す！魅力的な「キャラ顔」の描き方，インプレス (2021).
- [3] YANAMi: 男女の顔の描き分け 角度別・年齢別・表情別のキャラデッサン，ホビージャパン (2018).
- [4] Looi, L. and Green, R.: Estimating Drawing Guidelines for Portrait Drawing, *Proc. of International Conference on Image and Vision Computing*, pp. 1–6 (2021).
- [5] 村津幸祐，藤田宜久，山西良典，仲田 晋：2 次元平面上的アニメ風顔画像回転モデルの作成と検証，第 4 回コミック工学研究会予稿集，pp. 23–27 (2020).
- [6] 山田太雅，棟方 渚，小野哲雄：人物キャラクターの模写における絵の評価システムの提案，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集，pp. 574–579 (2015).
- [7] 広川英智，松下光範：イラスト描画技術の習熟支援システムのための基礎検討 –スケッチ描画時における熟練者と初心者の視線情報の分析–，第 28 回ファジィシステムシンポジウム，pp. 663–668 (2012).
- [8] 山田大誠，高島健太郎，西本一志：試行錯誤的描画を支援する消し跡機能のデザインに関する基礎的検討，第 5 回コミック工学研究会予稿集，pp. 1–8 (2021).
- [9] 児玉涼次，中村剛士，加納政芳，山田晃嗣：DCGAN を用いたイラスト事例からの画風の再現，人工知能学会全国大会論文集，Vol. JSAI2017，pp. 3H1OS04a3–3H1OS04a3 (2017).
- [10] 坂下祐輔，藤吉弘亘，平田豊：画像処理による 3 次元眼球運動計測，実験工学，Vol. 6, No. 3, pp. 236–243 (2006).
- [11] 尾関基行，西澤良真，岡本拓也，岡 夏樹：ディスプレイ上に描画した平面的な目の視線方向の計算モデル，Vol. 13, No. 3, pp. 331–332 (2014).