

## 瞼の影響を考慮した視線計測のための角膜反射領域のモデル化

松尾 良磨†

山本 倫也††

長松 隆†††

† 関西学院大学大学院理工学研究科

†† 関西学院大学理工学部

††† 神戸大学大学院海事科学研究科

### 1 はじめに

視線計測では、高精度な角膜反射法が一般的に用いられるが、角膜上で光源の反射像（プルキニエ像）をカメラで撮影する必要があるため、視線計測可能範囲が限定されてしまう。複数のカメラや光源を用いることで、この範囲を広げるシミュレータを江川らが提案するなど[1]、この解決法はいくつか提案されており、それらは gaze cone と呼ばれる円錐形の角膜反射領域のモデルが用いられる。しかし、実際にはより精緻なモデルが求められる。

そこで本研究では、先行研究で開発したデバイス(GCMD)[2]を用いてプルキニエ像の角膜反射領域を計測し、そのモデル化を行う。

### 2 計測条件と提案モデル

#### 2.1 計測条件

GCMD は、上下左右と斜めの計 8 方向（カメラ側から右方向を  $\theta_0$  とし、反時計まわりに、 $\theta_1, \dots, \theta_7$ ）から  $5^\circ$  毎に配置した 145 個の LED から赤外線を照射し、その反射をカメラで撮影し、プルキニエ像の個数を数えることで反射領域を計測するデバイスである(図 1)。デバイスには 8 本のアームに赤外線 LED を取り付けられており、各方向の一番外側に映るプルキニエ像の最大角度を計測する。カメラと眼球の距離は 150 mm である。

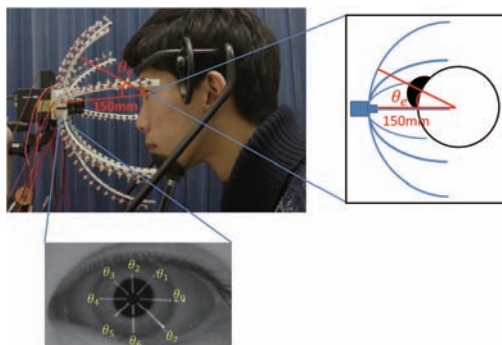


図 1: 計測条件と角膜に映るプルキニエ像

実験では、注視点を上下に移動させることで、眼球を回転させ、その際の角膜反射領域を求めた。注視は、眼球の回旋点を含む水平面と、眼球の回旋点と注視点を結んだ線のなす角(図 1 中の  $\theta_e$ ) が  $0^\circ$ 、上方向の回転を正とし、 $\pm 15^\circ$ 、 $\pm 20^\circ$ 、 $\pm 25^\circ$ 、 $\pm 30^\circ$ 、 $\pm 35^\circ$  になるよう行わせた。実験協力者は 22 歳から 24 歳の男性計 5 名で、それぞれ左目を対象に計測を行った。

#### 2.2 提案モデル

gaze cone のように、常にプルキニエ像が撮影できることを仮定した場合、強膜の影響により、角膜反射領域は円錐形となる。しかし、実際に撮影したカメラ画像では、これに加えて、撮影のオクルージョンとライティングのオクルージョンが起こる。3 つの要因に優先順位はなく、いずれかの要因でプルキニエ像の最大角が定まる。角膜反射領域は  $\theta_0$  から  $\theta_7$  の全方向の最大角をつなげることで定まる。

強膜の影響は、横方向や下方向の角膜反射で顕著である。本研究では眼球を 2 つの球（眼球を表す大きな球と角膜を表す小さな球）が重ね合わさった形状であり、その回旋点は大きい球の中心であると仮定する。また、小さな球が眼球の回転とともに移動し、それに伴いプルキニエ像の最大角が変化すると考える(図 2)。

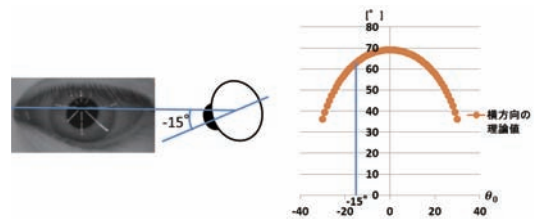


図 2: 強膜の影響を受けた  $\theta_0$  の理論値

撮影のオクルージョンは、角膜とカメラの間に瞼が入り、結果としてプルキニエ像が撮影できなくなることを言う(図 3 左)。眼球の回転に合わせて瞼が移動することにより生じる。眼球を下方向に回転させた場合の、上瞼の影響が最も顕著である。

ライティングのオクルージョンは、鼻や瞼により光源から角膜に入る光が遮られ、結果としてプルキニエ像が撮影できなくなることを言う(図 3 右)。この現象は眼球を上方向に回転させると上瞼や鼻付近に、下方向では下瞼付近に生じる。この現象が起こると、眼球を回転させても角膜反射領域は変化しなくなる。

Modeling of corneal reflection area considered the effect of eyelid for eye tracking

†Ryoma Matsuo††Michiya Yamamoto †††Takashi Nagamatsu

†Graduate School of Science and Technology, Kwansai Gakuin University

††School of Science and Technology, Kwansai Gakuin University

†††Graduate School of Faculty of Maritime Sciences, Kobe University

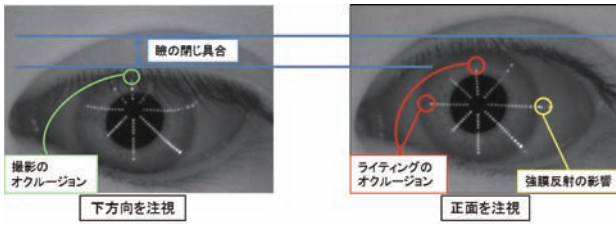


図 3: 観測される影響

### 3 モデルフィッティング

GCMD による計測結果を用いて、提案モデルとのフィッティングを行った。まず、強膜の影響を受ける  $\theta_0$ ,  $\theta_6$  は、図 4 のように変化した。  $\theta_6$  は眼球の回転に比例し、 $\theta_0$  は図 2 のモデルとのフィッティングを行うと、角膜の大きさを個人差として考慮すれば概ね一致した。

撮影のオクルージョンは、図 5 のように  $\theta_2$  で、眼球が下を向いているとき等に観測された。この場合、傾きに個人差があり、これは、眼球の回転に比例して瞼が移動する結果であった。また、影響が起こり始める角度にも個人差があり、これは瞼の形状による。

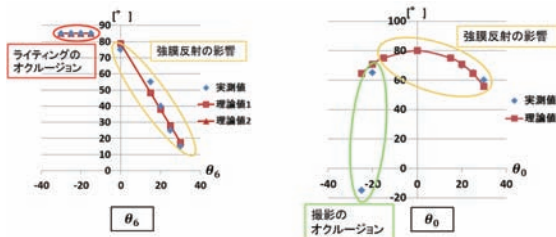


図 4: 強膜の影響を受けた  $\theta_6$ ,  $\theta_0$  のフィッティング

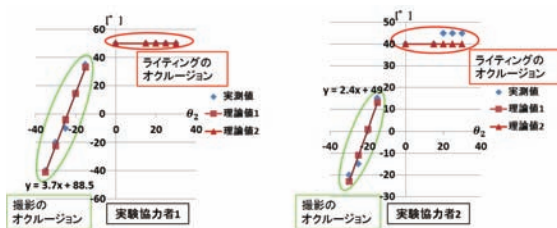


図 5:  $\theta_2$  におけるフィッティングと個人差

ライティングのオクルージョンを受ける  $\theta_4$  では、図 6 のように、部分的にブルキニエ像の最大角が一定となった。図 5 でもライティングのオクルージョンが起こっており、ここでも最大角は一定であった。

以上のように、上下左右の 4 方向は提案モデルにより説明可能であった。また、他の斜め 4 方向については、上下左右を楕円の長軸と短軸とし、斜め方向の角度の値をその楕円から算出することができた (図 7)。

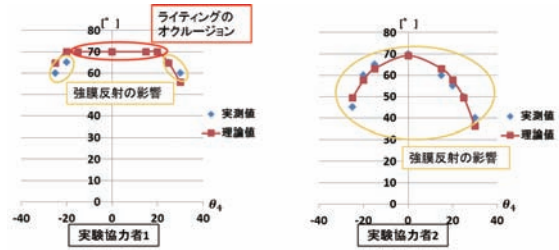


図 6:  $\theta_4$  におけるフィッティングと個人差

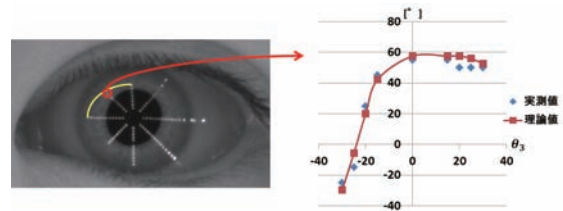


図 7:  $\theta_3$  における理論値の算出とフィッティング

### 4 まとめ

本研究では、従来の gaze cone が強膜の影響のみ考慮されていたのに対し、瞼による撮影のオクルージョンとライティングのオクルージョンが生じるという新たな角膜反射領域モデルを提案し、実測値とのモデルフィッティングを行った。実測値との誤差は概ね  $5^\circ$  未満で、これは GCMD の LED の間隔未満であることから、十分に説明できたといえる。一方で、角膜の大きさ、眼球の回転に追従する瞼の下がり方、瞼の厚みや開き具合、鼻の影響には個人に依存するパラメータが必要である。これらの個人パラメータを少ない計測回数で、どのように求めるかが今後の課題である。

### 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 16H02860, 16H03225 等の支援によって行われた。ここに感謝する。

### 参考文献

- [1] 江川晃一, 山本倫也, 長松隆: 角膜反射法における視線計測可能ボリュームシミュレータの開発とマルチユーザ視線インタラクションシステムへの適用, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.11, pp.2476-2486, (2014).
- [2] 松尾良磨, 酒井大貴, 福森聡, 山本倫也, 長松隆: 笑いの表情に対応した視線計測のための gaze cone の計測, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.18, No.2, pp.179-182, (2016).