

スポーツ競技力向上のための Quiet Eye 訓練システムに関する基礎的研究

A Basic Study of Quiet Eye Training System for improving motor performance in sports

今福 翔太^{1*} 白山 晋¹

Shota IMAFUKU¹ Susumu SHIRAYAMA¹

¹ 東京大学大学院工学系研究科

¹ School of Engineering, The University of Tokyo

Abstract: The Quiet Eye (QE), a kind of eye movement, has received attention in recent years. It is observed when people concentrate on the task. It is revealed that duration of experts tends to be longer than that of novices and training of QE makes people more tolerant to pressure. So, we may be able to improve motor skills by training of QE. However, the training of QE has not been established yet because of the difficulty of detecting QE. Then, we propose an easy measurement method for QE. And we also examined the relationship between QE and the pupil diameter and re-define QE as a centered state for skills assessment.

1 背景

2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会の開催が決定し、これまで以上にスポーツへの関心が高まっている。2015年10月1日には文部科学省の外局としてスポーツ庁が設立されたことから、国が率先して、スポーツを通じた文化への貢献および日本人の競技力向上に取り組もうとしていることがうかがえる。また、企業においては、体操の技の自動採点システムなど、ICTを活用した競技力向上システムの開発が進められている。

一般論として、あらゆるスポーツにおいて、高いレベルでのプレイを行うためには周囲の重要な情報を取得し、素早く的確な判断を行い、正確に体を動かすことが必要不可欠とされている。そして、的確な判断を行うためには適切な時間に適切な場所を見ることが重要とされる。

この点に対し、1992年にVickersはゴルフのパターの研究においてこのような適切な時間に適切な場所をみる能力を発見し、1996年にバスケットボールのフリースローの研究でこの能力のことをQuiet Eyeと名付けている。また、Quiet Eyeを与えられた運動課題中の特定の場所か物体を見ており、視野角3度以下かつ持続時間が100ms以上の最後の停留点もしくは注視行動であると定義付けている [1]。

Quiet Eye(QE)は熟練者と非熟練者を明確に分ける視線行動としても知られている。例えば、Klostermannらによりゴルフのパターにおいては熟練者の方が非熟練者よりもQEの持続時間が長く、終了時点が遅いことが報告されている [2]。Causerらはショットガン競技に関する研究において、熟練者は非熟練者に比べて標的を目で捉えるのが早く、より長い間標的を見ていることを発見した [3]。また、Vickersにより、バスケットボールのフリースローにおいて熟練者のQEの持続時間は成功時の方が失敗時よりも長いことが示されている [4]。これらの研究では、熟練者と非熟練者を分けている特徴を、

1. 身体動作
2. 注視対象
3. 注視行動開始時点
4. 注視行動終了時点
5. 注視行動持続時間

の5つとすることが多い。本稿でもこの5つの特徴に注目する

QEを考慮した訓練に関する研究もある。Vineらはフリースローの課題について、被験者を、QEを意識した指導を受ける組と技術的な指導のみの組に分けて8日間にわたって訓練を行った。その結果、QEの指導を受けた被験者のQEの持続時間は訓練前より長くな

*連絡先：東京大学大学院工学系研究科
東京都文京区本郷 7-3-1
E-mail: shota.imafuku@gmail.com

り、技術的な指導のみを受けた被験者と比較しても有意に長くなったことを示している。また、成功率についても技術的な指導のみを受けた被験者よりも高くなり、さらにはプレッシャーがかかり、緊張するような状況においてもより高い確率で成功することを見出している。この研究結果は、QE は訓練によって改善させることができ、より効率的な競技力の向上が見込めることおよびプレッシャーに対して耐性を得られることを示唆している [5]。

一方、水崎らは非熟練者に対して QE の訓練を行ったが QE による練習効率の向上は見られなかったことを報告している。彼らは、非熟練者に対しては、QE の訓練の前に動作の獲得に必要な訓練期間を設定する必要があると主張している [6]。

いずれにしろ、QE を考慮した訓練が一般的になれば、競技力のより一層の向上が可能になると考えられる。このためには科学的な知見に基づく QE 訓練システムの構築が必要になる。

2 目的

本研究の最終的な目標は、スポーツの競技力向上のための QE 訓練システムを構築することである。本稿では、QE の計測手法について検討する。

先述の通り、これまで QE についての研究は行われているが、著者が調べた限りでは、QE の計測手法についての研究は少ない。例えば、水崎らは被験者に視線計測装置を装着させ、視野映像を取得し、被験者の全身の運動の様子はビデオカメラを用いて撮影し、2つの映像を合わせて QE を計測している。しかし、計測手法に関する言及はほとんどなされていない。特に、身体動作の検出に関する記述がないことが問題である。

また、QE の定義において、心理状態が考慮されていない点も問題である。QE はフリースローやパターのような集中を必要とする場面で観察されていることから一種の集中状態を表現するものと考えられる。一般に集中状態を眼球情報から分析する際には瞳孔径や瞬目を考慮するが、Vickers の定義では、この点は考慮されていない。このため、集中状態としての QE を十分に表現しきれていない可能性がある。

そこで、本稿では身体動作の検出法と集中状態の抽出法を提案する。身体動作の検出に関しては、できる限り簡易に行うことを条件とする。また、瞳孔径の変化を中心とした視線計測から集中状態の抽出を行う。本稿の目的は、身体動作の検出、および集中状態の抽出を介して、QE の再定義を試み、再定義された QE が競技力を計る指標となりうることを示すことである。

QE を簡単に計測できるようになれば、QE を考慮した訓練が一般的になり、競技力のより一層の向上が

可能になると考えられる。また、QE の状態をより詳細に表現できることも競技力の評価に寄与すると考えられる。

3 提案手法

3.1 概要

3.1.1 身体動作の計測

QE の計測手法の課題としては被験者の動作の検出がある。本研究では、動作の検出については機械学習を用いたジェスチャー認識を利用して行う。

3.1.2 集中状態としての QE の分析

QE を一種の集中状態と考えると、集中しているか否かを眼球運動から推定できるかが一つの鍵となる。眼球運動からの心理状態の推定には、瞳孔径の変化や瞬目の数が用いられることが多い。そこで、本稿では瞳孔径を考慮することで集中状態としての QE をより正確に表現できるのではないかと考える。

3.2 実験環境

眼球情報取得のためにはナックイメーজテクノロジー社の頭部装着型視線計測装置の EMR-9 を用いる。EMR-9 では、眼球情報として、瞳孔径・視線位置・停留点等の時系列データを記録することができる。また、視野映像も記録可能である。被験者の運動の様子の撮影にはマイクロソフト社の Kinect v1 を利用する。EMR-9 の視野映像と Kinect v1 の映像はノート PC によって同時に記録される。

3.3 分析手法

はじめに、Vickers の定義に基づき、計測した眼球情報と Kinect v1 で取得した身体運動情報から QE が発生しているか否かを判別する。次に、眼球情報に対して、QE が発生している場合は 1 を、そうでない場合は 0 を属性として付与する。すなわち、2 値である QE 情報が眼球情報に加わる。瞳孔径と QE の関係性を調べるためにロジスティック回帰モデルと隠れマルコフモデルを適用する。

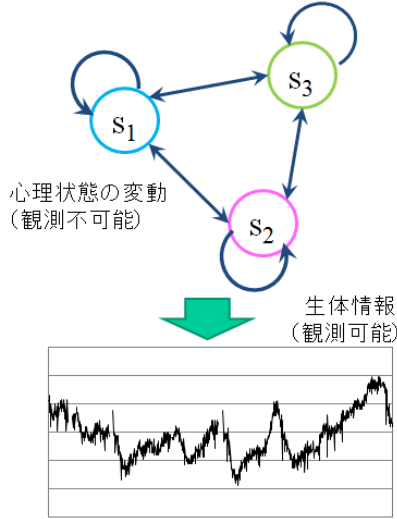


図 1: 心理状態と生体情報の関係

3.3.1 ロジスティック回帰モデル

一般に集中時に変化すると考えられている瞳孔径を含む眼球情報と QE の関係を探るためにロジスティック回帰モデルを用いて評価を行う。

ロジスティック回帰モデルとは、説明変数が量的な観測値であり、目的変数が 2 値データであるときに利用される回帰モデルである。

m 個の説明変数を $x_1, \dots, x_i, \dots, x_m$ とする。また、目的変数を y とし、 n 組の観測値 $y_1, \dots, y_j, \dots, y_n$ が得られたとする。 y_j は反応があれば 1 を、そうでなければ 0 をとる。この時、反応する確率 p は式 (1) のようなロジスティックモデルで示すことができる。

$$p = \frac{\exp(b_0 + b_1x_1 + \dots + b_ix_i + \dots + b_mx_m)}{1 + \exp(b_0 + b_1x_1 + \dots + b_ix_i + \dots + b_mx_m)} \quad (1)$$

また、ロジット変換により、

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m \quad (2)$$

のように線形回帰モデルに変換することもできる。

3.3.2 隠れマルコフモデル

観測可能な生体情報と観測不可能な心理状態との間に隠れマルコフモデルを仮定することで、心理状態を推定が試みられている [7]。本稿においても眼球情報および運動の情報と QE 情報の間に隠れマルコフモデルを適用することで、QE の推定を行う。

図 1 は、これを模式的に示したものである。時系列データがある確率分布に従って信号を出力する定常確

率分布を持ついくつかの信号源（状態）の切り替わりで生成されているものとする。図 1 では 3 つの状態を s_1, s_2, s_3 とし、それらの確率的な状態遷移がマルコフ過程に従うものとしている。

観測可能な時系列データから状態の時間変化を推定するのが隠れマルコフモデル (HMM: Hidden Markov Model) である。HMM では、取り得る状態数と定常確率分布を与え、観測変数系列（時系列データ）から状態の時間変化を推定する。観測変数系列を \mathbf{u}_n とし、図 2 に 3 状態が切り替わる場合を示す。図の上段で、状態の遷移を時間方向に展開したものをオレンジ色で示している。最初の状態 (s_s) から $s_1 \rightarrow s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow$ のように変化している。時刻 n の状態は潜在変数で表される。潜在変数 \mathbf{y}_n を、状態数を M とし、

$$\mathbf{y}_n = \begin{pmatrix} y_{n,1} \\ y_{n,2} \\ \vdots \\ y_{n,M} \end{pmatrix}, y_{n,k} = \{0, 1\} \quad (3)$$

とする。ここで、 $1 \leq k \leq M$, $0 \leq n \leq N$ である。また、 $\sum_{k=1}^M y_{n,k} = 1$ とする。 \mathbf{y}_n は要素のいずれか 1 つの値が 1 で残りが 0 の M 次元ベクトルである。 $y_{n,i} = 1$ であれば、潜在変数 \mathbf{y}_n は状態 s_i を表す。また、潜在変数に対して、次式で表される一次のマルコフ性を仮定する。

$$P(\mathbf{y}_{n+1} | \mathbf{y}_n, \dots, \mathbf{y}_0) = P(\mathbf{y}_{n+1} | \mathbf{y}_n) \quad (4)$$

HMM によって、得られた観測変数系列 (\mathbf{u}_n) を生じさせる尤もらしい潜在変数系列 \mathbf{y}_n が推定される。本稿では、求められた潜在変数系列 \mathbf{y}_n を観測変数系列 \mathbf{u}_n に対応付ける。また、潜在変数が心理状態を表すものとする。図 3 の下段に示すように、HMM を利用することで、潜在変数の時間毎の値が推定され、その値を生体情報に割り当て、生体情報を分割する (上段)。ただし、潜在変数がどのような心理状態を表しているかは別の方法で推定する必要がある。本稿では、潜在変数の値が等しい生体情報の特徴量を利用した推定法を提案する。具体的には、図 3 に示す、それぞれの状態において、生体情報の平均や分散といった特徴量を計算する。その特徴量から心理状態の推定を行う。

4 実験

ゴルフのパターにおいて QE を計測するための実験を行った。

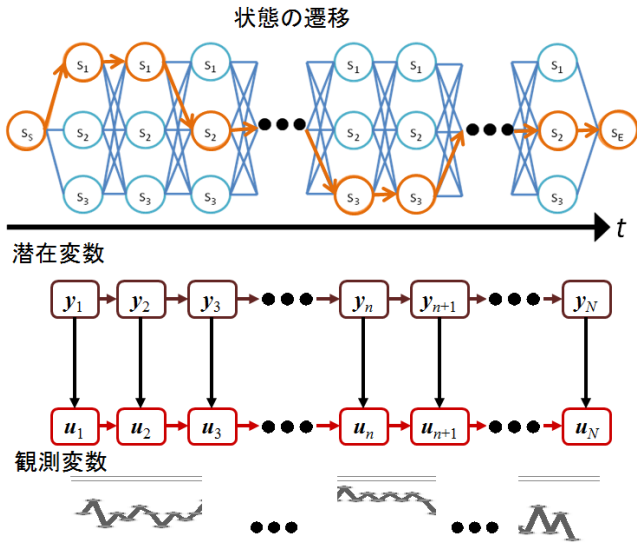


図 2: 隠れマルコフモデルにおける状態の遷移を表す潜在変数系列と観測変数系列の関係

4.1 仮説の設定

瞳孔径が QE に寄与しているという仮説を設定し、その検証を目的とした実験を実施した。

4.2 実験概要

男性大学院生 2 名および女性大学院生 1 名にゴルフのパティングを行ってもらい、動作時の様子を撮影し、眼球情報を取得した。パターマットには Tabata 社の Fujita Mat 1.5 を利用し、パターでボールを 150cm 離れたカップに入れる試行を行った。概要を図 4 に示す。

眼球情報として、瞳孔径と視線位置 (x 座標, y 座標) および停留点か否かをサンプリングレート 240Hz で取得した。なお同時に取得されている視野映像は 30Hz であるため、240Hz で取得された眼球情報の一部は映像上に表現されていない。そこで今回は視野映像に記録されている眼球情報のみを分析に利用した。

以下に実験の流れを示す。

1. 実験の説明: 約 1 分間、被験者に口頭で説明する。
2. 練習: 10 本パターを打ってもらう。
3. 本課題: 20 本パターを打ってもらう。この間の眼球情報及びパターの成否を記録する。

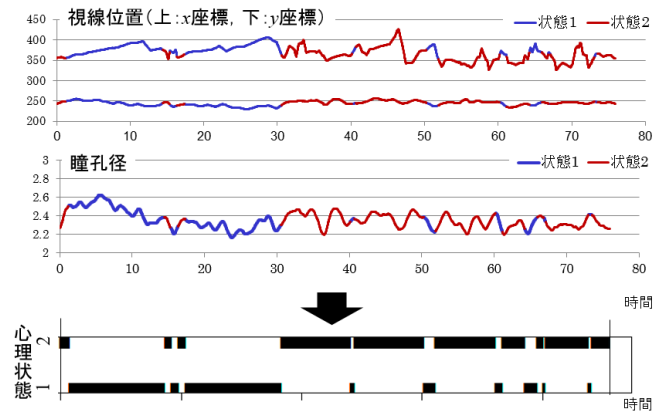


図 3: 生体情報の分割

4.3 計測されたデータ

被験者 A について得られた眼球情報を図 5 に示す。ただし、瞬目中や視野カメラの範囲外を見ていた場合のエラー値は取り除いてある。

パターの動作中であるか否かを 2 値データとして入力し、停留点の情報と QE の定義と照らし合わせて QE が起こっているか否かを 2 値データとして入力した。表 1 に被験者 A の、QE である時と QE でないときの瞳孔径の中央値、平均値、分散を示す。

表 1: QE 時と QE でない時の瞳孔径の値

	QE 時	QE でない時
中央値	3.560	3.670
平均値	3.575	3.775
分散	0.0317	0.4699

4.4 ロジスティック回帰モデルの適用

実験で得られた眼球運動のデータに対して、エラー値を取り除き、動作情報と QE 情報を加えた。この 6 次元ベクトルの時系列データに対して QE 情報を目的変数、その他の情報を説明変数としてロジスティック回帰モデルの適用を行った。適用した結果を表 2 に示す(紙面の都合で被験者 A の場合を示す)。被験者 3 人に共通して、回帰係数の推定値については停留点情報と動作情報が大きく、その次に大きいのが瞳孔径であった。p 値については、被験者 3 人ともが 0.5 を下回って

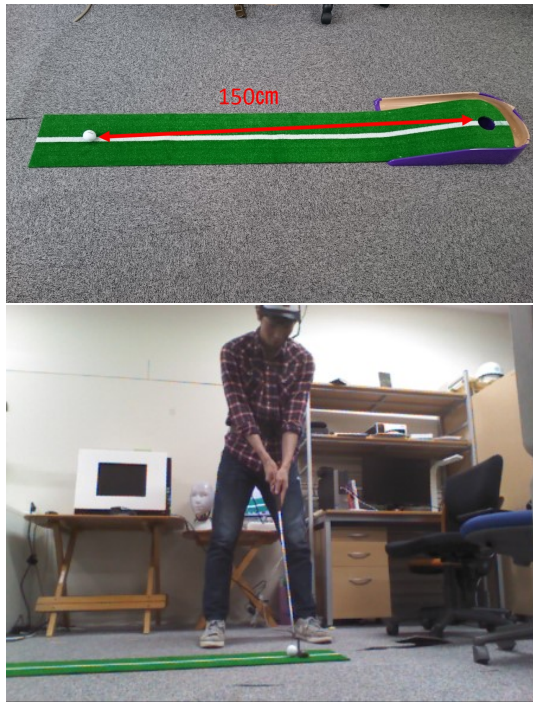


図 4: ゴルフマット（上）と実験の様子（下）

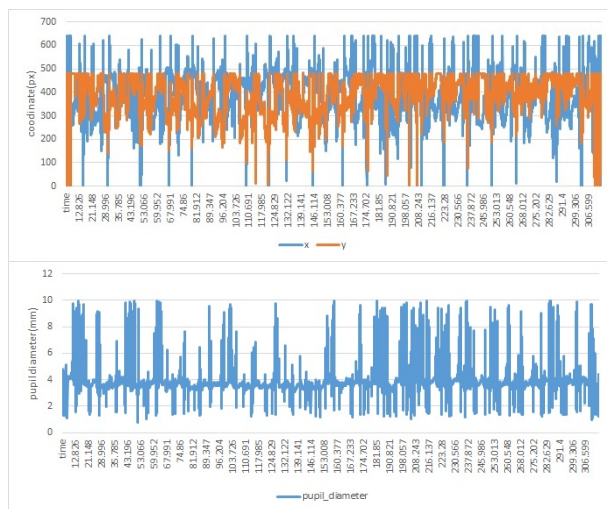


図 5: 被験者 A について計測された視線位置（上）と瞳孔径（下）

いたのは x 座標と瞳孔径であった。さらに被験者 B については y 座標の p 値が 0.5 を下回り、被験者 C については y 座標および動作情報の p 値が 0.5 を下回っていた。

表 2: ロジスティック回帰モデルの適用結果

	推定値	標準偏差
定数項	-2.915e+01	1.992e+03
x 座標	-4.868e-02	5.336e-03
y 座標	-5.891e-03	3.315e-03
瞳孔径	-1.817e+00	8.017e-01
停留点	2.151e+01	1.453e+03
動作	3.678e+01	1.362e+03

4.5 隠れマルコフモデルの適用

エラー値を取り除いた眼球情報のデータおよび動作情報の 5 次元ベクトルの時系列データに対して隠れマルコフモデルを適用し、状態を分割した。状態数は 2, 3, 4 を与えた。いずれの被験者にしても、状態数 2 と 3 については状態の判別が難しい結果であった。被験者 A についての状態分割 4 の結果と QE 情報を図 6 に示す。

状態数 4 の場合は前半では状態 2、後半では状態 4 が QE 情報に近い分割となっている。

5 考察

いずれの被験者においても、QE の時と QE でない時の瞳孔径に関しては QE でない時の方が分散が著しく大きくなっていった。これは瞳孔はレンズの役割があり、異なる距離のものを見る際には収縮拡大が起これるのでその影響があったからだと考えられる。

ゴルフのパター実施時の眼球運動および動作情報の時系列データに対してロジスティック回帰モデルを適用した結果、QE と瞳孔径にはある一定の関係が見られた。しかし、それ以上に停留点と動作情報の寄与が大きかった。これは現在 QE の定義の中に停留点と動作情報が含まれている個との確からしさの裏付けと言える。また、いずれの被験者においても x 座標との関係が見られたが、これはカップに狙いを定める際に x 方向の視線の動きが重要になっているからだと考えられる。これは、QE では見る場所が重要であるという既存の知見にも一致する。

また、瞳孔径も含めた眼球情報と動作情報の時系列データに対して隠れマルコフモデルを適用し心理状態の推定を行った結果、明確に QE と言える状態は検出

されなかった。これは動作に入る直前や動作中といった QE 以外の時間でも集中状態があったためだと考えられる。

6 まとめ

今回の実験結果から、QE と瞳孔径には一定の関係があることを示唆する結果が得られた。また、隠れマルコフモデルによって QE を含む集中状態を表現できる可能性があると考えられる。

今後の課題として以下の 3 つを挙げる。

1. 被験者数, 試行回数を増やし, 統計的分析を行う。
2. 映像の同期および動作検出の精度を向上させる。
3. 簡易な QE 計測手法を開発し, 妥当性を確認していく。
4. スポーツのトレーニングシーンでの活用方法を検討する。

参考文献

- [1] J. N. Vickers:, Origins and current issues in Quiet Eye reserch, Current Issues in Sport Science, Vol.1, pp.1-11, (2016)
- [2] A. Klostermann, R. Kredel, and E-J. Hossner.:, On the interaction of attentional focus and gaze: the quiet eye inhibits focus-related performance decrements, Jounal Sport and Exercise Psychology, Vol.36, pp.392-400, (2014)
- [3] J. Causer, S-J. Bennett, P. S. Holmes, C. M. Janelle, and A. M. Williams:, Quiet eye duration and gun motion in elite shotgun shooting, Medicine and Science in Sports Exercise, Vol.42, pp.1599-1608, (2010)
- [4] J. N. Vickers:, Visual control when aiming at a far target. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, Vol.22, No.2, pp.342-354, (1996)
- [5] S. J. Vine, and M. R. Wilson:, The influence of quiet eye training and pressure on attention and visuo-motor control, Acta Psychologica, Vol.136, pp.340-346, (2011)

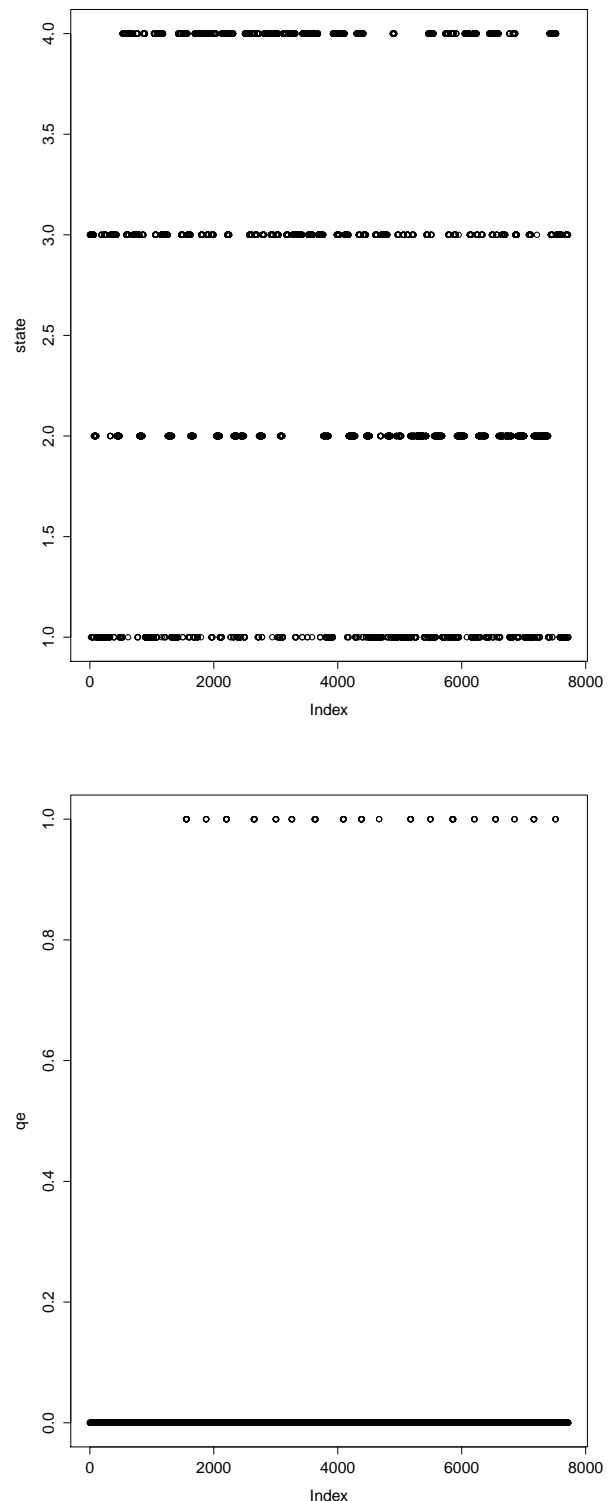


図 6: 被験者 A について状態分割の結果 (上) と QE 情報 (下)

- [6] 水崎佑毅, 中本浩揮, 森司朗:, バasketボール非熟練者を対象とした Quiet Eye トレーニング時の視覚遮蔽がフリースローの正確性に及ぼす影響, 鹿屋体育大学学術研究紀要, 第 47 号, pp.21-28, (2013)
- [7] 並木正信:, 知的生産現場における心理状態の分析に関する研究, 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻修士論文, (2015)