

排尿吸光スペクトル特性を用いた排尿誘発時間予測システム The System for Predicting Induced Urinary Time by Using Characteristic of Urination Absorption Spectrum

山崎 智将[†] 広田 卓[†] 村田 亮介[†] 楠木 崇史[‡] 栗原 陽介[†]
Tomomasa Yamasaki Taku Hirota Ryosuke Murata Kaburagi Takashi Yosuke Kurihara

1. はじめに

介護施設における排尿管理では、主に紙おむつやカテーテルなどを用いた失禁の対策が行われている[1,2]. これらの対策は事後対処であるため、失禁を事前に防ぐためには、患者が尿意を催した際、適宜トイレに連れて行く必要がある。そのためには、定期的に患者の尿意を介護士が確認する必要がある。もし、患者がトイレで排泄した段階で、事前に次に尿意を感じ始める尿意誘発時間を予測することができれば、介護士は定期的に尿意を確認する必要がなくなるため負担が減り、効率のよい介護スケジュールを立てることができる。

著者らは、これまで膀胱内蓄尿量の推移に関するモデルを構築し、モデルのパラメータを排尿の吸光スペクトルから推定する事で、蓄尿量の推移を予測する手法を提案してきた[3,4]. 本研究では、排尿時における尿を分光することで得られる吸光特性を用いて、尿意誘発時間を無拘束で予測する手法を提案する。

2. 提案手法

ハイパースペクトルカメラを用いて排尿を分光する事で尿中の水分や成分といった情報を収集できる。本提案手法は、尿中成分を吸光スペクトルとして計測し、吸光スペクトル分布から分布のピーク値及び、ピーク波長を算出する事で、重回帰モデルを通じて尿意誘発時間を予測するという手法で構成されている。

2.1 特徴量の算出

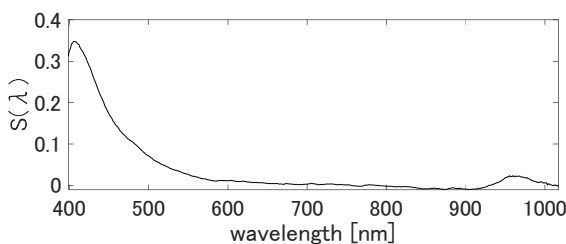


図1 吸光スペクトル $S(\lambda)$ 計測例

図1が正規化済み吸光スペクトル $S(\lambda)$ の一例である。ハイパースペクトルカメラは被写体が発する光スペクトルを高波長分解能で計測できるものである。排尿吸光スペクトルはハイパースペクトルカメラで排尿を撮影するだけでは取得できない。排尿の吸光スペクトル $S_u(\lambda)$ の計測は、光源からの光の当たり方に影響を受けてしまう。したがって、計測の際には、同時に同環境下で水の吸光スペクトル $S_w(\lambda)$ も計測し、水の吸光スペクトルを用いて排尿の吸光スペクトルを正規化する事で、計測環境による影響を消去する。この正規化済み吸光スペクトル $S(\lambda)$ を本研究では、排尿の吸光スペクトル計測結果として用いる。

$$S(\lambda) = \log_{10} \left\{ \frac{S_w(\lambda)}{S_u(\lambda)} \right\} \quad (1)$$

ここで、 λ は吸光スペクトルの波長を示し、波長はサンプリング間隔 $\Delta\lambda$ 、計測範囲 λ_{low} から λ_{high} によって定義される。以上の式(1)から求めた吸光スペクトルの計測範囲 λ_{low} から λ_{high} に対して、ピークの波長 λ_p とピーク値 $S(\lambda_p)$ を算出する。

2.2 尿意誘発時間予測

前節 2.1 で取得した特徴量であるピークの波長 λ_p とピーク値 $S(\lambda_p)$ の2つを、重回帰モデルの説明変数として用いることで予測尿意誘発時間 $\hat{\mu}$ [分]を取得する。

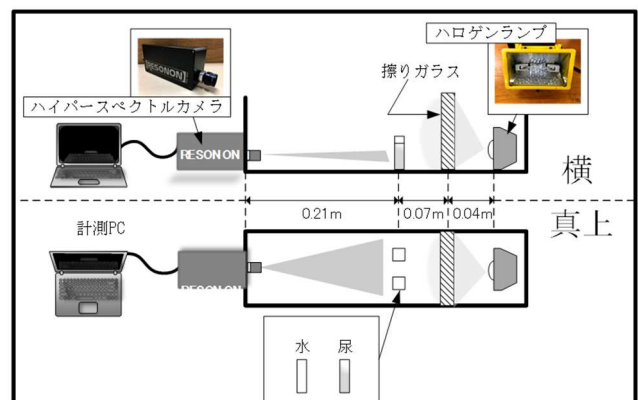
$$\hat{\mu} = \alpha\lambda_p + \beta S(\lambda_p) \quad (2)$$

3. 検証実験

3.1 実験システム

図2は実験システムを示す。排尿後の尿及び水の吸光特性を計測する為に、RESONON社のPIKA_XC2のハイパースペクトルカメラを用いた。用いたハイパースペクトルカメラの撮影波長域は、 $\lambda_{low} = 398.67\text{nm}$ 、 $\lambda_{high} = 1016.78\text{nm}$ 、 $\Delta\lambda = 1.34\text{nm}$ となる。つまり、462個の離散吸光スペクトルが計測される。今回の実験では撮影する際、外部の光が入ってしまうと吸光特性の結果に影響を与えてしまうので、外部から光が入らない密閉空間の中で、幅広い波長を含み計測に影響がないハロゲンライトを光源として使用し計測をする。ここで、擦りガラスはハロゲンライトの光を分散させる為に用いた。

図2 実験設備



3.2 実験手順

本実験では、被験者として健康に問題ない20代男性1名とした。被験者には安静にしてもらい、尿意を感じた段階で時間を記録しお手洗いに行き、排尿をサンプルしてもら

う。排尿後には 300ml のミネラルウォーターを摂取してもらい、それ以外の飲食は禁止とする。実験は、日を分けながら 50 回繰り返す。

3.3 評価方法

本実験では、50 分割交差検定で行う。すなわち、全データのうち 1 データをテストデータとして、残り 49 データで重回帰モデルを作成し、重回帰モデルによる排尿時間の予測値 $\hat{\mu}$ と真値 μ の二乗平均平方根誤差(RMSE)を算出する。さらに、提案手法の有用性を検証する為、重回帰モデルで用いた同 49 データの平均尿意誘発時間を算出し、テストデータの予測値 $\hat{\mu}$ とする手法もおこない、T 検定(有意水準 5%)によって有意差を比較した。この平均手法も 50 分割交差検定となり、誤差には同様に RMSE を用いた。ここで、 n はデータ数を示し本実験では 50 となる。また、 k はデータ番号を示す。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\hat{\mu}_k - \mu_k)^2} \quad (3)$$

4. 結果

表 1 各手法の RMSE

| 手法 | 提案手法 [分] | 平均手法 [分] |
|------|----------|----------|
| RMSE | 19.74 | 28.86 |

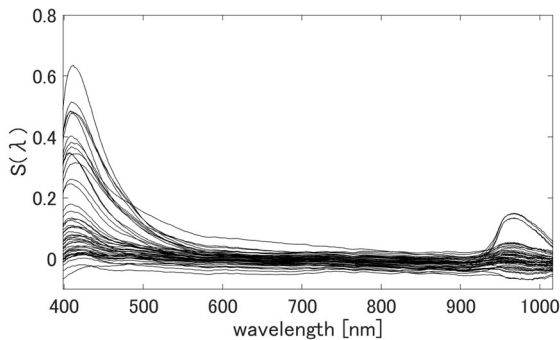


図 3 全計測吸光スペクトルデータ

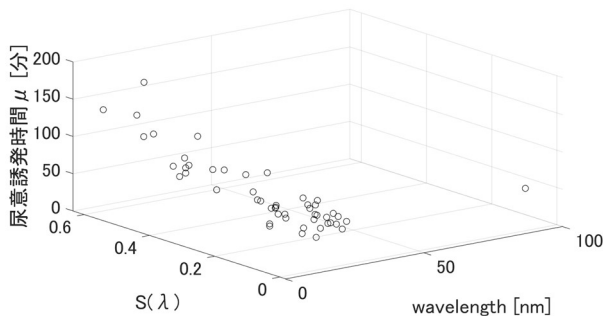


図 4 尿意誘発時間と吸光スペクトル分布ピークとの関係性

表 1 は本実験の予測結果を示す。T 検定によって、 p 値が 0.0381 となり提案手法の方が高精度であるといえる。図 3,4 は計測吸光スペクトル全データと、尿意誘発時間と今回特徴量として扱ったピークの波長 λ_p とピーク値 $S(\lambda_p)$ との関

係性を示す。それらの図から提案手法が尿意誘導時間の高精度予測を実現した理由が伺える。図 3 に示すように、計測した吸光スペクトルデータはピークが観察できる。また、図 4 を参照すると、ピークの波長 λ_p と尿意誘発時間では -0.3044、ピーク値 $S(\lambda_p)$ と尿意誘発時間の間には 0.7738 の相関がある事が分かる。以上 2 点から提案手法による高精度予測の背景が説明できる。

5. 考察

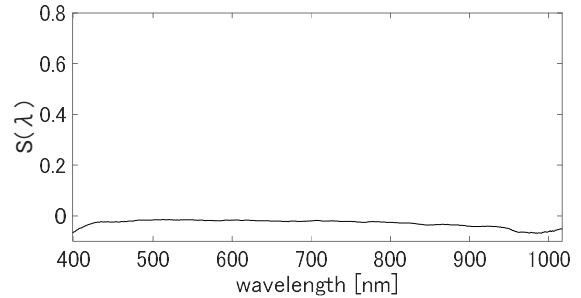


図 5 特徴量取得が困難な事例

図 5 は 50 個の計測データのうち予測精度が低かった事例の 1 つである。図 5 に示している計測データ時の尿意誘発時間 $\mu_{24} = 60$ に対して、予測尿意誘発時間 $\hat{\mu}_{24} = 7.40$ となった。理由として、図 3 に示しているその他の計測データのようにピークが明らかではなく、他データと比較し著しく小さいピーク値 $S(\lambda_p)$ が重回帰モデルの入力として採用された事が考えられる。

6. 結論

本研究では、施設の排尿管理における介護士の負担低減を目的に、排尿吸光スペクトル $S(\lambda)$ から特徴量としてピークの波長 λ_p とピーク値 $S(\lambda_p)$ を算出し、重回帰モデルを用いて尿意誘発時間を予測する手法を提案した。提案手法の有用性を検討する実験では、誤差 RMSE が 19.74[分]となった。

7. 今後の展望

図 4 で示す吸光スペクトルデータにも対応可能とする為、特徴量の算出方法を再検討する。

参考文献

- [1] 藤井恵子, 前川厚子, 吉川由利子, “エビデンスに基づく痴呆症高齢者尿失禁マネジメント”, 日本創傷・オストミー・失禁ケア研究会誌, Vol.8, No.2, pp19-28 (2004).
- [2] 松永美輝恵, 井関智美, 田内雅規, “感度の異なる排尿検知装置の試作と高齢者介護施設における臨床評価”, 岡山県立大学保健福祉学部紀要, Vol.20, No.1, pp53-61 (2014)
- [3] T.Yamasaki, T.Kaburagi, S.Kumagai, T.Matsumoto, Y.Kurihara, “Urinary Volume Prediction Method by Gaussian Process,” 44th International Academic Conference, Wien, Austria (2018)
- [4] Y. Kurihara, T. Yamasaki, T. Kaburagi, S. Kumagai and T. Matsumoto, “Model of Urine Accumulation in the Bladder and Method for Predicting Unconstrained Urine Volume Based on Absorption Spectrum of Urine,” in IEEE Access, vol. 8, pp. 69368-69377, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2986584 (2020)