

膀胱内蓄尿量推移の無拘束予測のための排尿成分吸光特性解析

-リッジ回帰による最適モデルパラメータの推定-

Absorption Spectrum Analysis of Urinary Constituent for Unconstrained Intravesical Urine Volume Prediction - Estimation of Optimal Model Parameters by the Ridge Regression -

山崎 智将[†] 鍋木 崇史[‡] 栗原 陽介[†]
 Tomomasa Yamasaki Takashi Kaburagi Yosuke Kurihara

1. はじめに

現在、介護現場では排尿管理が介護者の負担を増加させる要因の一つとして大きな社会問題になっている。被介護者が失禁していれば炎症や尿路感染症などを予防するため、介護者はすぐに紙おむつの交換をしなければならない [1,2]。そのため、定期的に紙おむつ内を確認する、または超音波センサを被介護者の膀胱上に設置し現在の膀胱内の蓄尿量を確認する必要がある。もし、介護現場において膀胱内蓄尿量推移の予測ができると効率的な介護スケジューリングができ、被介護者を失禁前にトイレへ連れていくことができる。

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ベースとした蓄尿量の推移を無拘束で予測する手法を提案してきた[3,4]。本研究では、これまで提案してきた排尿推移のモデルにおけるパラメータを、排尿時における尿を分光することで得られる吸光特性から推定することで、無拘束で、蓄尿量の推移を予測する手法を提案する。

2. 提案手法

2.1 膀胱内蓄尿量モデルと吸光特性

著者らがこれまで提案してきた膀胱内蓄尿量モデルを(1)式に示す。(1)式のモデルにおいては、パラメータ c_1, c_2, c_3 が決定することで、どのように膀胱内の蓄尿量 $y(t)$ が推移するかを予測できる。

$$y(t) = c_1 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t - c_3}{c_2}\right) \right\} u(t - c_3) \quad (1)$$

(1)式において、 $u(t)$ は腎臓で生成された原尿が常に一定量生成されるとしたステップ入力する。腎臓で生成された原尿は、体内水分量に応じて、尿として膀胱内に溜まる場合と体内に再吸収される場合に分けられる。体内水分量が少ない場合は、抗利尿ホルモンの分泌が高められ体内に水分を保持するため、原尿中の水分量が減る。それによって、尿の色は濃くなる。この尿の色の原因は、尿中に塩素、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、リン酸などのイオンを含んでいるからである [5]。本提案手法では、(1)式における c_1, c_2, c_3 は、膀胱内に蓄尿できる最大値、膀胱内に蓄尿する速さ、再吸収が終わり膀胱内に尿が蓄積しだす時間を表しており、尿中の成分と関係があると仮定する。したがって、排尿後の尿中成分の吸光特性を計測することによって求まる成分濃度から、 c_1, c_2, c_3 を推定ことが出来るとする。

[†] 青山学院大学 Aoyama Gakuin University

[‡] 国際基督教大学 International Christian University

2.2 尿中成分の吸光特性

排尿における吸光特性を λ_{low} から λ_{high} の範囲において波長分解能 $\Delta\lambda$ で計測し、その離散スペクトルを $\lambda_i^u (i=1, 2, \dots, \frac{\lambda_{high}-\lambda_{low}}{\Delta\lambda} + 1)$ ととする。このとき、 λ_i^u は外光の影響等を受けるため、同様に水の吸光特性 λ_i^w により、以下の(2)式により校正をおこなうことで、校正した吸光特性 $\lambda_i (i=1, 2, \dots, \frac{\lambda_{high}-\lambda_{low}}{\Delta\lambda} + 1)$ を求める。

$$\lambda_i = \frac{\lambda_i^u}{\lambda_i^w} \quad (2)$$

2.3 リッジ回帰による予測モデル

(2)式により校正した吸光特性 λ_i に対し、リッジ回帰を用いることで c_1, c_2, c_3 を推定する。リッジ回帰における説明変数は、 $\lambda_i (i=1, 2, \dots, \frac{\lambda_{high}-\lambda_{low}}{\Delta\lambda} + 1)$ とする。一方、目的変数となる c_1, c_2, c_3 の値は、超音波センサを用いて計測した膀胱内蓄尿量推移の時系列データ $s(t)$ に対して以下の手法より取得する。 $s(t)$ に対し、内点法を用いることで c_3 を決定する。続いて、時刻 0 から c_3 を除いた時系列データに対し、(1)式の $c_3=0$ としたモデルを用いて、カルマンフィルタを適用する。フィルタリングされた時系列データにたいし内分法を適用することで c_1, c_2 を決定する。得られた c_1, c_2, c_3 および吸光特性 λ_i のデータセットにたいしリッジ回帰を適用することで、予測モデルを構築する。従って、この予測モデルに対し、 c_1, c_2, c_3 が未知の吸光特性 λ_i を代入することで、その推定値 $\hat{c}_1, \hat{c}_2, \hat{c}_3$ を得ることができ、 $\hat{c}_1, \hat{c}_2, \hat{c}_3$ を(1)式に代入することで、膀胱内蓄尿量の予測 $\hat{y}(t)$ が求まる。

3. 検証実験

3.1 実験システム

実験システムを図1に示す。排尿後の尿および水の吸光特性を計測するために、RESONON社のPIKA_XC2のハイパースペクトルカメラを用いる。ここでは $\lambda_{low} = 398.67\text{nm}$, $\lambda_{high} = 1016.78\text{nm}$, $\Delta\lambda = 1.34\text{nm}$ となる。従って、462個の離散スペクトルが計測される。ハイパースペクトルカメラで撮影する際、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いますので、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。

本実験では、超音波センサとしてリリアム(株式会社リリアム)を使用する。恥骨部分を自身の手で確認し、腹部体表面の恥骨より1cm上の位置にプローブを当て、安定した計測をおこなう為に、安静状態及び仰臥位状態で計測をおこなう。

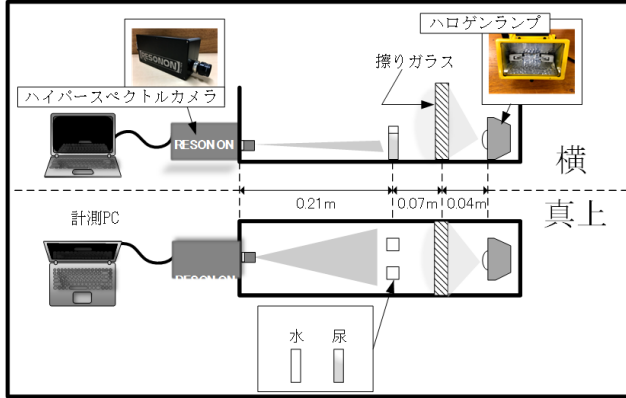


図1 実験設備

3.2 実験手順

本実験では健康に問題のない20代男性1名を被験者とした。被験者は尿意を感じた時にトイレに行き、同時に紙コップで排尿量を計測する。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42回繰り返す。従って、全部で42データの c_1, c_2, c_3 および吸光特性 λ_i が得られる。

3.3 評価方法

提案手法の評価は、得られた42データを、41データの学習データ、1データの訓練データに分けリッジ回帰モデルを作成し、42分割交差検定によって行う。

評価指標は、推定されたパラメータを提案モデルに代入して得られた予測膀胱内蓄尿量推移のうちトイレに行った時間 T に対し、(1)式より求まる値 $\hat{y}(T)$ と、その時に計測紙コップで計測した実際の排尿量 V_{out} との誤差率 e_y を用いた。また、超音波センサとの精度比較として計測した時系列 $s(T)$ に関する計測誤差 e_s を求める。

$$e_y = \frac{|\hat{y}(T) - V_{out}|}{V_{out}} \quad (3)$$

$$e_s = \frac{|s(T) - V_{out}|}{V_{out}} \quad (4)$$

4. 結果

図2に、誤差率 e_y が最も低い場合、図3に最も大きい場合の予測結果を示す。図2では、 $e_y=0.30\%$ 、 $e_s=8.68\%$ となり、図3では、 $e_y=61.57\%$ 、 $e_s=14.86\%$ となった。

また、全ての42データにおいて、提案手法により予測した排尿量と、実際の排尿量との平均誤差率は20.56%となり、現在、膀胱内蓄尿量を計測する手法である接触型の超音波センサの平均誤差率24.14%よりも高精度となった。

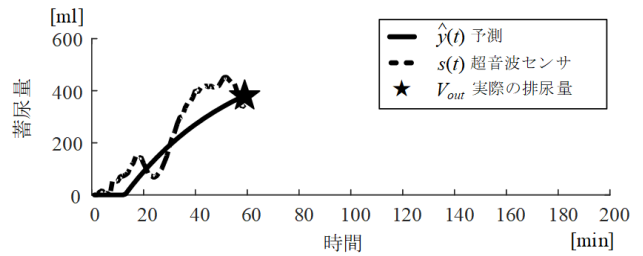


図2 誤差率が低い場合

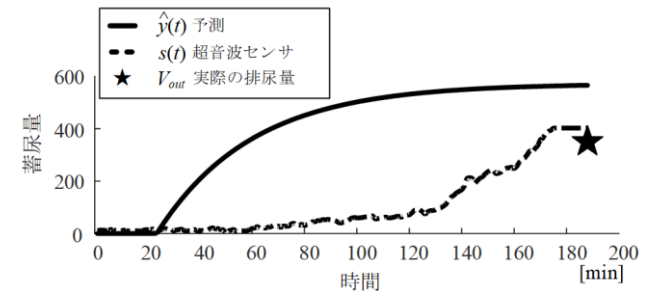


図3 誤差率が大きい場合

5. 考察

予測平均誤差率20.56%と超音波センサによる計測誤差の比較から、無拘束で予測が高精度であることが確認された。一方、図3のように著しく予測精度が悪い場合も存在する。これは42データにおけるパラメータ c_3 が24.44分であるのに対して、最も誤差率が大きくなった図3の c_3 が113.47分であったためであると考えられる。したがって、提案モデルのように再吸収中に c_3 を0mlとするのではなく、尿が徐々に溜まることを考慮するようモデルを改良する必要がある。

6. むすび

本研究では、リッジ回帰を用いて排尿の吸光特性から蓄尿量予測モデルの3つのパラメータを推定し、膀胱内蓄尿量を予測する手法を提案した。その結果、平均的に超音波センサよりも高精度に予測をすることが出来た。しかし、中には、予測精度が悪くなる現象が観察された。今後は、より高精度な予測を行うために、被験者を増やしていく必要がある。

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] T.Yamasaki, T.Kaburagi, K.Kuramoto, Satoshi Kumagai, Toshiyuki Matsumoto, and Yosuke Kurihara “Prediction of Intravesical Urine Volume Considering Individual Characteristics on Accumulative Transition,” 3rd International Conference on Applied Research in Science, Technology and Knowledge, Berlin, Germany (2019)
- [5] 伊藤機一 「尿の知識」 株式会社誠製本所(2009)