

摂取水分量および排尿量による体内水分収支を考慮した排尿時刻予測手法の提案
—回帰手法の違いによる予測精度の比較—

Suggest of Predicting Time of Urination Considering the Balance of Water in the Body
Based on Fluid Intake and Urine volume
-Comparison of Prediction Accuracy by Different Regression Methods-

塩田 崇真[†] 浜田 百合[†] 栗原陽介[†]
Soma Shiota Yuri Hamada Yosuke Kurihara

1. はじめに

現在の介護施設では高齢者の尿失禁が問題視されており、現場ではおむつやカテーテルによって尿失禁の対策をしている[1]。しかし、おむつを交換する行為は介助者、高齢者ともに精神的負担や身体的負担が大きくなっていく[2]。また、カテーテルによる対策は感染症などを引き起こすリスクがあるとされている[3]。そのため、無拘束状態で排尿時刻の予測を行うことが出来れば介助者が排泄を促し、容易に尿失禁を未然に防ぐことができ、上記負担が軽減されることが期待される。

筆者らはこれまで排尿直後に次の排尿時刻の予測のための初期予測を行い、その後の飲水時に排尿時刻の誤差補正を行うことで飲水の影響を考慮した排尿時刻の予測手法を提案してきた[4]。誤差補正では特徴量にたいし、ARD 二乗指数カーネルによるガウス過程回帰を適用したが、他のカーネルの種類による予測精度については未検討であった。そこで本研究では誤差補正時に適用されるガウス過程回帰において 10 種類のカーネルを比較し、予測精度について検討する。

2. 提案手法

提案手法では、排尿直後に次の排尿時刻予測を行い、その後の飲水時に排尿時刻予測の補正を行うことで飲水により生じる誤差を考慮した予測を行う。また、初期予測の際に累積摂取水分量と累積排尿量の差分を取り、体内水分収支を考慮することで体内に吸収されず膀胱に流れる水分量を把握し、排尿時刻の予測に用いる。

2.1 特徴量

腎臓は体内水分量の恒常性の維持の為に腎臓から膀胱に移行する過程で原尿が体内に再吸収される。これより体内の水分量が不足すると再吸収を増加し、逆に水分量が過剰になると再吸収を抑えることで体内水分量を適正值に保つ。この働きを考慮すると、水分摂取量が少なくなると、単位時間当たりの累積排尿量は少なくなり、次の排尿までの時間が長くなる。一方、水分摂取量が多いときには単位時間当たりの累積排尿量が多くなり、次の排尿までの時間が短くなる。以上の点より本提案手法では、水分摂取の情報を持つものとして累積水分摂取量、排尿の量を定量的に示すものとして累積排尿量を用いる。また、体内の水分が減少傾向にあると、口内にまで循環する水分が少なくなり、口

内水分の値が小さくなる。一方で、体内の水分が増加傾向にあると口内に循環する水分は多くなり、口内水分の値が大きくなることが考えられることより、本研究では体内水分の値を定量的に示し、予測精度向上の一助となるものとして口内水分量を用いる。

2.2 信号処理

図 1 に本提案手法の信号処理図を示す。

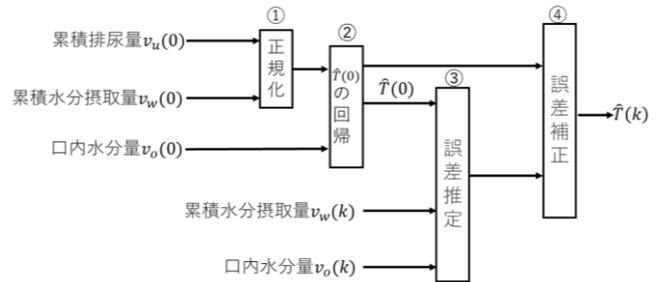


図 1 信号処理図

提案手法は①～④の処理で構成されており、①、②が初期予測、③、④が誤差補正に係る処理となる。時刻 t における累積排尿量を $v_u(t)$ 、累積水分摂取量を $v_w(t)$ 、口内水分量を $v_o(t)$ とする。排尿直後の時刻を $t=0$ としたとき、①では、体内水分収支を考慮するため $v_u(0) - v_w(0)$ を求め、正規化する。②では、①で求めた値と $v_o(0)$ を説明変数、排尿までの時間間隔 T を目的変数とし、回帰分析を行うことで初期予測 $\hat{t}(0)$ を求める。初期予測後の任意の時刻 k において、水分を摂取した際、水分摂取の影響による誤差を補正する。③では、②で求めた初期予測 $\hat{t}(0)$ 、時刻 k で摂取した水分量を含む累積水分量 $v_w(k)$ 、時刻 k で計測した口内水分量 $v_o(k)$ を説明変数、初期予測による誤差 $e(k) = T - \hat{t}(0)$ を目的変数とし、回帰分析を行い、補正誤差 $\hat{e}(k)$ を求める。④では、初期予測 $\hat{t}(0)$ および補正誤差 $\hat{e}(k)$ にたいし、 $\hat{t}(k) = \hat{t}(0) - \hat{e}(k)$ により誤差補正された排尿予測時刻 $\hat{t}(k)$ を求める。

3. 検証実験

提案手法③においては、ガウス過程回帰を用いて回帰分析を行う。本検証実験では、10 種のカーネルを比較し、誤差補正による予測精度について比較する。

3.1 実験手順および実験参加者

本実験では、実験参加者は実験準備として 500ml の飲水を行い、その後尿意を感じ次第排尿した直後を初期時刻 $k=0$ とし計測を開始する。排尿時には計測コップにより排尿量 $v_u(0)$ を計測する。排尿後、口腔水分計ムーカスによ

[†] 青山学院大学 理工学部 経営システム工学科
Department of Industrial and Systems Engineering, College of
Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

り口内水分量を三度計測し中央値を $v_o(0)$ とする。その後、200 ml の水を飲み $v_w(0)$ を求める。今回、任意の飲水の時刻は $k=20$ 分と設定し、排尿後 20 分間安静状態を保ったのち口内水分量を計測し $v_o(20)$ を求める。計測直後に 200ml, 150ml, 100ml のいずれかの量の飲水を行う。その後、再度安静状態を保ち、尿意を感じ次第排尿を行い、排尿量の計測と排尿直後から今回の排尿までにかかった時間間隔 T を計測する。以上の手順を任意の回数繰り返す。

実験参加者は尿路感染症に感染していない 20 代男性 3 名を対象とし、排尿時間間隔 T が 110 分以内の 33 データを取得した。本実験は、青山学院大学倫理審査委員会による倫理審査を受け、承認を得たうえで行われた (承認番号 H21-004)。

本実験では②における初期予測と③における誤差補正時にガウス過程回帰を用いて予測を行う際、初期予測時のカーネル関数は有理二次カーネルで固定し、誤差補正時のカーネル関数を 10 種類用いて予測を行い、カーネルの違いによる予測精度の比較を行う。

3.2 評価手法

本実験では、Leave-one-data-out 交差検証を本提案手法における初期予測と誤差補正時の 2 つの回帰式の学習とテストにおいて適用する。これにより 33 個の初期予測 $\hat{T}_i(0)$ ($i = 1, 2, \dots, 33$) および、補正後の排尿時刻予測 $\hat{T}_i(20)$ を導出する。導出した初期予測 $\hat{T}_i(0)$ と排尿時刻予測 $\hat{T}_i(20)$ は (1) 式により排尿時刻の真値 T_i にたいし、初期予測時刻 $k=0$ 、および誤差補正時刻 $k=20$ における平均絶対誤差 $MAE(0)$ 、 $MAE(20)$ をそれぞれ算出することで、誤差補正による予測精度向上の評価を行う。

$$MAE(k) = \frac{1}{33} \sum_{i=1}^{33} |\hat{T}_i(k) - T_i| \quad (1)$$

4. 実験結果

図 2 に本提案手法により予測し、評価を行った $MAE(0)$ と $MAE(20)$ の結果を棒グラフで示す。黒の棒グラフが $MAE(0)$ 、灰色の棒グラフが、誤差補正時における 10 種類のカーネル関数による $MAE(20)$ を示す。

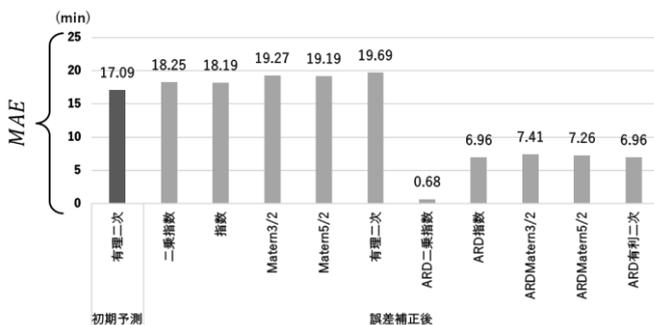
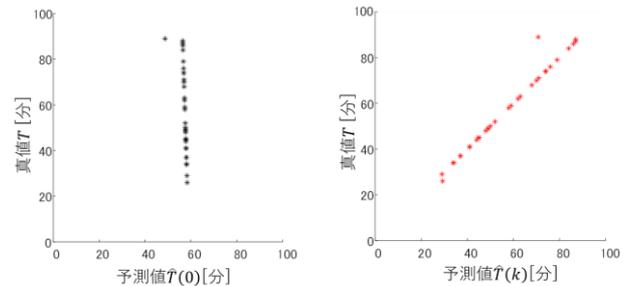


図 2 カーネルの違いによる平均絶対誤差

図 2 より、10 種類のカーネルの内 5 種類のカーネル関数において誤差補正後が初期予測よりも予測精度が悪くなっていることが確認できる。また、最も予測精度が向上していたカーネル関数は ARD 二乗指数カーネルであり、 $MAE(0)$ が 17.09 分であるのにたいし、 $MAE(20)$ が 0.68 分

なり、誤差補正により 16.41 分の予測精度の向上が確認された。

図 3 に、最も予測精度の高い ARD 二乗指数カーネルを用いた際の予測結果の散布図を示す。図 3(a) に初期予測 $\hat{T}(0)$ と真値 T の散布図、図 3(b) に誤差補正後の予測排尿時刻 $\hat{T}(20)$ と真値 T の散布図を示す。図 3 を比較すると、誤差補正により、排尿時刻の予測精度が向上していることが確認できる。



(a) 初期予測 (b) 誤差補正後

図 3 予測における散布図

5. 考察

誤差補正により 16.41 分という大幅な予測精度向上が確認でき、さらに補正後の予測誤差は 0.68 分という結果となっていることより本提案手法における摂取水分量と排尿量によって体内水分収支を考慮した排尿時刻予測手法の有用性が確認できた。今回最も予測精度が悪いデータは真値が 89.0 分であるのにたいし、予測時間が 70.8 分となっており、18.2 分の予測誤差が生じていた。これは口内水分量の扱う値を三度計測した観測値の中央値としているためばらつきが出てしまったことが原因であると考えられる。

6. 結論

本研究では腎機能に着目することで体内水分収支を考慮した排尿時刻予測手法を提案した。その際、初期予測時にガウス過程回帰のカーネル関数を有利二次カーネル、誤差補正時のカーネル関数を ARD 二乗指数カーネルとすることで $MAE(0)$ の 17.09 分から $MAE(20)$ が 0.68 分へ予測精度が向上し誤差補正により 16.41 分の予測精度の向上が確認された。

本研究では排尿間隔時間が 110 分以内と比較的排尿間隔が短いデータを対象とした。今後の課題として 110 分以上の排尿間隔時間が長いデータを用いた検証を行うことが考えられる。

参考文献

- [1] 大島伸一, 後藤百万, 吉川羊子, “平成 11 年度愛知県排尿障害実態調査報告書”, 愛知県, (2000).
- [2] Kaoru K, Keiko T, Atsuko N, “Low Back Load Produced by Changing a Diaper at Various Bed Heights Experienced by Female Care Workers in a Nursing Home”, J. Phys. Ther. Sci., Vol.25, Issue.4, pp.465-475, (2013).
- [3] Bryan CS, Reynolds KL, “Hospital-acquired bacteremic urinary tract infection: epidemiology and outcome”, J Urol, Vol.132, pp.494-398, (1984)
- [4] 塩田崇真, 広田卓, 浜田百合, 栗原陽介, “ガウス過程回帰を用いた飲水時誤差補正による排尿時刻予測手法の提案”, 電気情報通信学会総合大会, (2022)