

# 顔面領域皮膚温による深部体温推定におけるサポートベクター回帰の適用 Application of Support Vector Regression to Estimating Body Core Temperature Based on Facial Skin Temperature

伊藤 敦史<sup>†</sup> 高橋 宏彰<sup>†</sup> 南雲 健人<sup>†</sup> 大岩 孝輔<sup>†</sup> 野澤 昭雄<sup>†</sup>  
Atsushi Ito Hiroaki Takahashi Kent Nagumo Kosuke Oiwa Akio Nozawa

## 1. はじめに

近年, 新型コロナウイルスの感染拡大防止を図るため, デパートの入口や空港検疫などにおける赤外線サーモグラフィを用いた遠隔顔面皮膚温測定による検温が主流となっている。しかし, 測定される顔面皮膚温は定常的に深部体温より低く, また, 赤外線サーモグラフィ測定は環境温の影響を強く受けるため, 実環境において安定した検温を行うのは困難である。従って, 顔面皮膚温から深部体温を正確に推定する手法が求められている。

これまでも顔面皮膚温に基づく深部体温推定に関する研究が報告されている。吉川らは, 両頬, 額, 首の矩形領域を定義し, 各領域での平均皮膚温, 測定環境温, 被験者の BMI を説明変数として, 重回帰分析 (MRA), サポートベクター回帰 (SVR) を適用することで深部体温指標の一つである鼓膜温を推定するモデルを構築した[1]。結果, 予測値と実測値の平均絶対誤差 (MAE) が MRA モデルでは  $0.196^{\circ}\text{C}$ , SVR モデルでは  $0.233^{\circ}\text{C}$  であり実用上十分な精度は得られていなかった。頬や首は比較的外乱の影響を受けやすい部位であるため, 定義する領域を顔面全体に拡張し, 内眼角周辺の様な深部体温と相関が知られている領域[2]も使用することで, 推定精度向上が期待できる。また, 皮膚温と深部体温は非線形な関係にあるため, 非線形回帰手法を顔面皮膚温に対して適用する方が推定精度は良くなると考えられる。

本研究では, 顔面全体から定義した領域における領域皮膚温に対し SVR を適用することで深部体温推定モデルの構築を行った。また, 比較対象として線形回帰手法である MRA, 非線形回帰手法であるランダムフォレスト (RF) を適用したモデルも構築し, SVR を顔面領域皮膚温に対し適用することの有用性を検証した。まず熱画像から定義した 26ヶ所の顔面部位領域における平均皮膚温, 測定環境温, サーモグラフィカメラ内温度を説明変数とし, 変数選択手法であるステップワイズ法, 感度分析, Boruta を適用した。次にそれぞれ選出された変数に対して MRA, SVR, RF を適用し, 深部体温指標の一つである腋窩温を目的変数としたモデルを構築することで推定精度の比較を行った。

## 2. 実験方法

本研究では, 実環境における検温を想定して長期的に熱画像及び腋窩温を収集する実験を行った。具体的には約 1 年間, 被験者に対して食事や睡眠時間等の統制や実験時間の指定は行わず, 被験者の熱画像とその時の腋窩温を測定した。

被験者は健常な 21~51 歳の男女 19 名であり, 期間中に延べ 569 回測定を行った。実験室の室温は  $25^{\circ}\text{C}$ ~ $31^{\circ}\text{C}$  であった。

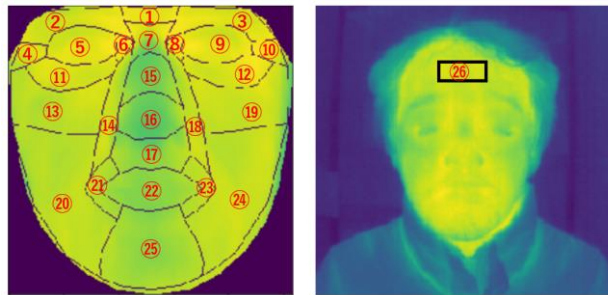


図 1 顔面部位領域

実験環境は, 赤外線サーモグラフィ (BOSON, FLIR) 及び市販の電子体温計 (MC-1600W-HP, オムロン) から構成される。赤外線サーモグラフィの温度分解能は  $0.1^{\circ}\text{C}$ , 解像度は  $320 \times 256$  pixel である。皮膚の放射率は  $\varepsilon = 0.98$  とした。電子体温計の検温誤差は  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  である。

## 3. 解析方法

### 3.1 顔面部位領域の定義

取得した熱画像に対し, 被験者間の顔の形状, 熱画像撮影時の顔の向きや撮影距離の違いによる影響を低減すべく, 南雲らの手法により空間標準顔面熱画像を生成した[3]。さらに空間標準顔に対し Kartynnik らの手法により抽出した 445 点の顔特徴点を用いて図 1 左に示す 25 の顔面部位領域 (①~⑳) を定義した[4]。また, 今回作成した空間標準顔には額部の領域が含まれていなかったため, 同図右に示した通り別途元の熱画像から額部の矩形領域 (㉔) を定義した。

### 3.2 モデル構築

3.1 で定義した各顔面部位領域における平均皮膚温, 測定環境温, サーモグラフィカメラ内温度を説明変数, 腋窩温を目的変数としてモデリングを行った。具体的には初めに, 深部体温推定に寄与する説明変数を選出するためステップワイズ法, 感度分析, Boruta を適用した[5][6]。ステップワイズ法には, MRA により構築されたモデルで算出される赤池情報量基準 (AIC) に基づく変数減少法を用いた。次に, 各手法によって選択された変数に対して MRA, SVR, RF によるモデル構築を行った。SVR ではカーネル関数にガウシアンカーネルを用い, ガウシアンカーネルのパラメータ  $\gamma$ , 不感度係数  $\varepsilon$ , 正則化係数  $C$  の 3 種類はそれぞれ  $0.001 \sim 1000$  の範囲でグリッドサーチにより, 構築したモデルの MAE が最小になる条件を探索し使用した。また, RF では回帰木の数を 100 とし, 回帰木の深さの最大値は指定せず, 回帰木に用いる特徴量の数はモデル構築時における説明変数の数とした。

モデルの精度指標として計 9 種類のモデルの MAE をそれぞれ 5 分割交差検証により算出した。

<sup>†</sup> 青山学院大学 Aoyama Gakuin University

表1 選出された説明変数

変数選択手法	選ばれた説明変数
ステップワイズ法	① ② ④ ⑥ ⑨ ⑫ ⑬ ⑮ ⑯ ⑳
感度分析	⑥ ⑨ ⑩ ⑪ ⑬ ⑭ ⑯ ㉒ ㉓
Boruta	④ ⑬ ⑮ ⑯ ⑲ ㉒ ㉓

表2 各モデルの MAE (単位: [°C])

		変数選択手法		
		ステップワイズ法	感度分析	Boruta
モデル	MRA	0.188	0.186	0.193
	SVR	0.185	<b>0.183</b>	0.189
	RF	0.195	0.197	0.193

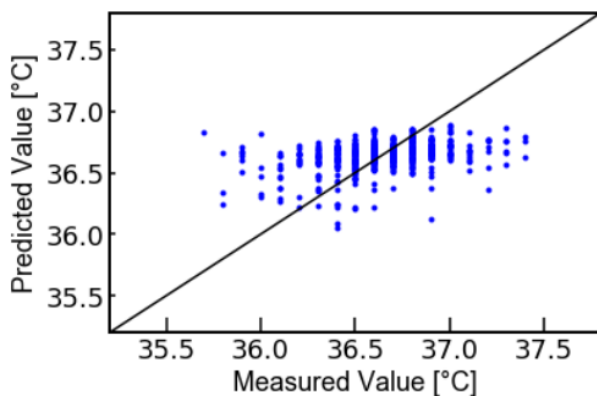


図2 感度分析とSVRを用いたモデルにおける実測・予測値

#### 4. 結果及び考察

各説明変数選択手法により選出された説明変数を表1に示す。各手法により共通して選出されていない説明変数は、③, ⑤, ⑦, ⑧, ⑱, ⑲, ㉑, ㉔, ㉕の10領域と測定環境温, サーモグラフィカメラ内温度である。このうち, ②, ③の様に左右対象に定義した領域で両方とも選出されなかったのは⑲, ㉔(頬部)であり, ①の様に左右の無い領域では㉕(顎)や⑱(鼻下), ⑦(鼻根)であった。頬部や口唇部周辺は皮下脂肪が比較的厚く, 鼻根は皮下脂肪が薄いが大い血管が通っていないことから, これらの領域では血流温度が反映されづらく, 深部体温推定に寄与する説明変数として選出されなかったと考えられる。また, 本研究における実験では被験者の測定前の行動を制限しておらず, 実験室に入室した直後に測定を行ったケースが見られた。このようなケースでは, 測定時の顔面皮膚温は被験者が直前に滞在していた環境温に純化していたため, 測定環境温は選出されなかったと考えられる。

構築した各モデルにおいて求められた MAE を表2に示す。変数選択手法ごとの結果を比較すると, SVRモデルの MAE は MRAモデル, RFモデルの MAE と大差なかった。また, MAE が最小となったのは変数選択手法に感度分析, モデル構築に SVR を用いて推定を行ったモデルであった。このモデルにおける深部体温の実測・予測値を図2に示す。予測値の大半が 36.5~36.7°C に分布し, ばらつきがなく正確な推定ができていなかった。このモデルのみならず, どのモデル

でも実測・予測値の散布図は同様な分布を示した。以上から SVRモデルと MRAモデル, RFモデルの差は軽微であり, また, どのモデルにおいても正確な深部体温推定はできていないため, 顔面領域皮膚温に対し SVR を適用することの有用性は不明瞭である。推定ができていない理由として, 収集したデータの大半が平熱時のものであったことから学習データが偏り, 予測値にばらつきが出なかったと考えられる。また, 図2では平熱時のデータに対する予測でも予測値が大きく外れているデータが存在しており, これらは外れ値と考えられる。従ってさらなるデータの収集や収集したデータに対する外れ値処理, オーバーサンプリングなどによるデータの偏りを考慮したモデルの構築が必要である。

#### 5. まとめ

本研究では, 顔面全体から定義した領域における領域皮膚温に対し SVR を適用することで深部体温推定モデルの構築を行った。また, MRA, RF を適用したモデルも構築し比較することで, SVR を顔面領域皮膚温に対し適用することの有用性の検証を行った。結果, 構築したモデル間での MAE には大差なく, また, MAE が最小となった SVRモデルでも正確に深部体温を推定できていなかったことから SVR を顔面領域皮膚温に対し適用することの有用性は不明瞭である。今後は, さらなるデータの収集及びデータの外れ値処理, オーバーサンプリングなどによるデータの偏りを考慮したモデルの構築を行う。

#### 参考文献

- [1] 吉川寛樹, 濱谷尚志, 内山彰, 東野輝夫: "機械学習に基づく簡易型サーモグラフィを用いた日常向け深部体温推定手法の提案", マルチメディア・分散・協調とモバイルシンポジウム, pp.1396-1403 (2017).
- [2] Y. Zhou, P. Ghassemi, M. Chen, D. McBride, J. P. Casamento, T. J. Pfefer, Q. Wang, Clinical evaluation of fever-screening thermography: Impact of consensus guidelines and facial measurement location, Journal of Biomedical Optics, Vol. 2, No.9, 097002-21 (2020).
- [3] Kent Nagumo, Kosuke Oiwa, Akio Nozawa, Spatial Normalization of Facial Thermal Images Using Facial Landmarks, Artificial Life and Robotics, Vol. 26, Iss.4, pp.481-487 (2021).
- [4] Y. Kartynnik, A. Ablavatski, I. Grishchenko, M. Grundmann: "Real-time Facial Surface Geometry from Monocular Video on Mobile GPUs", arXiv:1907.06724 (2019).
- [5] 田辺和俊, 鈴木孝弘: "サポートベクター回帰における感度分析による変数選択の有効性の検討", 統計数理(2020), 第68巻, 第1号, pp.175-192.
- [6] Kursu, Miron B, and Witold R. Rundnicki, Feature selection with the Boruta package, Journal of Statistical Software, Vol. 36, Iss.11, pp.1-13 (2010).