

生理指標計測による心理活動推定の問題

—心拍と瞳孔径による知的作業効率の推定を例として—

○下田 宏 石井 裕剛 (京都大学エネルギー科学研究科)

瀬尾 恭一 (京都大学エネルギー科学研究科、現在：大阪ガス)

Problems of Psychological Activity Estimation by Measuring Physiological Indices

-Intellectual Work Efficiency Estimation from Heartbeat and Pupil Diameter as an Example-

Hiroshi SHIMODA Hirotake ISHII (Kyoto University, Graduate School of Energy Science),
Kyoichi SEO (Kyoto University, Graduate School of Energy Science, Present; Osaka Gas Corp.)

1. はじめに

人間の心理活動と生理反応には密接な関係があり、多くの研究で認知状態や心的負荷と生理指標との関係が明らかにされてきた。そのため、生理指標を計測し分析することで、心理活動を推定する試みが行われている。例えば、生理指標から、感情の推定¹⁾やストレスの検出²⁾等を試みた研究がある。生理指標による心理活動推定は、客観的であること、リアルタイム推定が可能なこと、無意識の心理活動も推定可能なこと等の多くのメリットがあり、その応用範囲は広い。

一般に、生理指標から心理活動を推定するためには、(i)生理指標の計測、(ii)特徴量の抽出、(iii)特徴量からの心理活動の推定、の3ステップがある。特に近年ではICTの発展に伴い、(iii)の推定手法として機械学習による方法が使われるようになってきた。心理活動の推定では、生理指標の特徴量を入力としてその時の心理活動を推定結果として出力するが、機械学習による推定方法は、単純な線形モデルやルールベース推論による推定とは異なり、事前に教師データと呼ばれる多数の「入力-出力」の組を正解として学習させ、学習した推定器を用いて生理指標の特徴量から心理活動を推定するものである。これまで、例えばHMM(Hidden Markov Model)やNN(Neural Network)から、近年流行のSVM(Support Vector Machine)、Random Forest等の利用が試みられている。

しかし、これまでの試みでは、利用する機械学習方法やそれに与える教師データの数と種類は、基本的に試行錯誤に基づいて決められており、その最適化に関しては十分に議論されていない。また、そもそも教師データの出力となる心理活動そのものを計測する方法についても検討する必要がある。本稿では、著者らが実施した心理活動の推定実験を例に挙げて、この問題を提起したい。

2. 推定実験例の概要と結果

この推定実験では、生理指標を用いた客観的かつ定量的な知的生産性評価手法の開発に向けた基礎検討として、知的作業中の対象作業への集中の程度、すなわち作業効率を生理指標から推定する方法を検討した。その概要を図1に示す。具体的には、難易度がほぼ一定で、言語・数字取扱い・判断能力を必要とする認知タスクである伝票分類タスク³⁾を30名の実験参加者に与え、その単位時間当たりの伝票処理枚数を作業効率として計測するとともに、心拍変動と瞳孔径を同時計測した。この計測を2回実施し、そのうちの1回は徐々に解答ペースを上げるように指示し、別の1回は徐々に解答ペースを下げるように指示した。これらの計測の順序は30名の実験参加者間でカウンターバランスを取った。また、この計測を行う前日に、認知タスクへの習熟と解答ペース調整のために事前練習を実施した。

このようにして得られた実験データセットを基に、SVR(Support Vector Regression)⁴⁾と呼ばれる機械学習方法を用いて、生理指標データから作業効率を推定した。SVRの学習では知的作業中の5分間の心拍の平均HFパワー、平均LFパワー、LF/HF比、および5分間の平均瞳孔径を入力とし、5分間の作業成績(作業効率)を出力として、回帰モデルを作成した。30名の実験参加者それぞれについて、13分割交差検証法により回帰モデルを作成し、その回帰モデルの推定精度を評価した。すなわち、計測データを13セットに分割してそのうちの12セットを回帰モデルの作成に使い、残りの1セットの推定精度を評価することをすべてのセットで行った。推定精度評価の結果を表1に示す。

表1からわかるように、SVRを使った作業成績の推定では比較的高い推定精度が得られた。ただし

MSEおよび R^2 の標準偏差・最大／最小値からもわかるように、個人によるバラつきも見られた。

一方、SVRでは学習によって創出される超平面 $\vec{w}^T \cdot \vec{x} + b = 0$ の係数ベクトル $\vec{w}$ の各要素の絶対値から、各入力データの寄与度がわかる。表2に各入力データの係数の平均値とその絶対値の平均値を示す。これより、瞳孔径は心拍変動に比べて寄与度が高く、正方向に寄与していることがわかる。その一方で、LFパワーでは若干逆方向に寄与しているが、平均値と絶対値平均が大きく異なっており、正方向に寄与する実験参加者もいれば逆方向に寄与する実験参加者もいることがわかる。

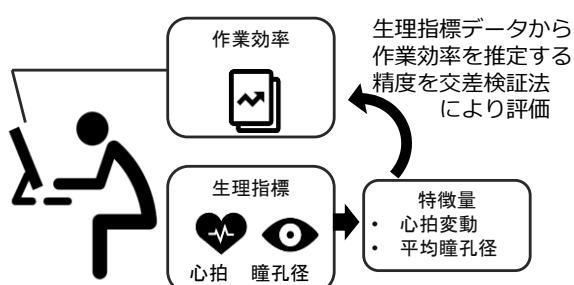


図1 作業効率推定実験の概要

表1 推定精度評価の結果

	平均平方誤差MSE	相関係数 R^2
平均(N=30)	0.056	0.875
標準偏差	0.055	0.097
最大	0.237	0.979
最小	0.008	0.665

表2 入力データの係数の平均とその絶対値の平均

	HF	LF	LF/HF	瞳孔径
平均係数	-0.27	-0.98	-0.71	2.00
絶対値平均	1.56	1.92	2.04	2.45

3. 心理活動推定方法の問題点

上記の例と同じ計測データを使ってRandom Forestにより回帰学習させ、13分割交差検証法で評価した場合、その推定精度はMSE=0.301、 $R^2=0.648$ となった。それに比べるとSVRを使った場合ではより高精度で推定できていることがわかる。しかし、この例は本質的に下記の疑問に答えられていない。

- (1) 作業効率を推定するためには、心拍変動と瞳孔径は最適な指標か？

- (2) 生理指標データから抽出し特徴量は適切か？（必要十分に特徴を表すのか？ 推定方法との相性は？）
- (3) SVRの教師データには、どれぐらいの種類が必要か？
- (4) 対象作業への集中を「作業効率」で代替している仮定は正しいのか？（対象作業への集中そのものは計測可能か？）
- (5) 個人による違い、生理指標計測時の体調の違い等は、どの程度推定結果に影響するのか？

近年では、特徴量の抽出を自動的に最適化することを特徴とするDeep Learning⁵⁾等の新しい機械学習方法も提案されている。また、機械学習による推定方法は本質的に質の良い教師データが多数必要であるが、それらを効率よく収集する方法も研究されている。さらに、機械学習では教師データなし学習や強化学習の方法もある。

生理指標からの心理活動の推定についてはメリットも多く古くから取り組まれているが、このような新しい機械学習技術も積極的に活用して前述の問題を検討していく必要があるだろう。

参考文献

- 1) Kazuhiko Takahashi: “Remarks on SVM-based emotion recognition from multimodal bio-potential signals”, Proceedings of 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp.95-100, 2004.
- 2) Jing Zhai, et al.: “Stress Detection in Computer Users Based on Digital Signal Processing of Noninvasive Physiological Variables”, Proceedings of EMBS’06, pp.1355-1358, 2006.
- 3) 宮城 和音他: “集中評価指標を用いた集中度向上照明の知的生産性評価 2. 集中の計測・解析ツールの開発”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.25-26, 2014.
- 4) Harris Drucker, et al.: “Support vector regression machines”, Advances in neural information processing systems, Vol.9, pp.155-161, 1997.
- 5) 岡谷 貴之: 深層学習, 講談社, 2015.