

# ウェアラブルセンサを用いたストレスの識別と分類の検討

## Verification of Stress Identification and Classification Using Wearable Sensors

若林 直哉<sup>†</sup>  
Naoya Wakabayashi

島川 博光<sup>†</sup>  
Hiromitsu Shimakawa

原田 史子<sup>‡</sup>  
Fumiko Harada

### 1. はじめに

働き方改革により、仕事に従事している個人の生産性を向上することが求められている。

若林ら [1] は生産性を向上させるために、仕事に従事しているヒトのストレス状態を推定し、その結果に応じた仕事を推奨する仕組みを構築した。ヒトのストレス状態を推定するにあたり、ウェアラブルセンサを用いてストレスの有無の識別と良悪の分類を行なった。

本論文では、これらの手法をより実用的なものにするために、ウェアラブルセンサの装着自体が生体データに及ぼす影響と、多くのヒトに共通したストレス推定に重要な変数について考察する。本論文で使用する実験手順や被験者の生体データは、文献 [1] と同一である。

### 2. 先行研究

若林らはヒトのストレス状態を推定するにあたり、ストレスを多元的に捉えることでストレスには種類が存在するとした。ヤーキーズ・ドットソンの法則より、高すぎず低すぎない適度なストレスは仕事のパフォーマンスを向上させることが示されている [2]。これをもとに、適度な負荷を心身に与えられることで心身の働きが促進される良性ストレス、過度な負荷を心身に課されるため心身機能の低下につながる悪性ストレスの2つに分類した。そして、ヒトから得られる生体データを分析することで、ストレスの有無の識別だけでなく良悪を分類した。

仕事に従事しているヒトから生体データを取得するために、侵襲性の低いウェアラブルセンサを使用した。しかし、ウェアラブルセンサを装着すると、ヒトはそのセンサの装着部位に発汗するなどの生理的反応を起こしてしまう。すなわち、ウェアラブルセンサの特性が生体データに影響を与えている可能性が否定できない。ストレスを正確に推定するには、ウェアラブルセンサの特性が生体データに及ぼす影響を吟味しておく必要がある。また、ストレス状態の推定に対して、多くのヒトに共通して重要な役割を果たす変数を探索しておくべきである。重要な変数を計測する必要はないので、装着すべきセンサを削減できる。そうすれば、対象者に対する侵襲性をより低くすることができる。

### 3. ストレス算出のモデル

ウェアラブルセンサを使って生体情報を収集するさい、センサの装着自体が計測に影響を与える可能性がある。とくに発汗を計測するセンサの場合、センサの装着が引き起こす皮膚からの発汗による蒸れの影響は調べておかなければならない。ストレスの推定において、皮膚の蒸れの影響がいかなるものであるかについて論じた研究は著者らの知る限りない。

本論文では、ウェアラブルセンサの装着自体が生体データに与える影響を検証するために、2つのパターンで分析する。皮膚特性について、瞬時値と傾向値を利用した場合で比較する。

- センサによる蒸れの影響はほぼないとした場合：皮膚特性について瞬時値を使い、その他の信号は、瞬時値と周波数解析値を説明変数に用いる。
- センサによる蒸れの影響が無視できないとした場合：皮膚特性について傾向値を使い、その他の信号は、瞬時値と周波数解析値を説明変数に用いる。

本研究において傾向とは、現時点と一定期間遡った時点との差分を指す。2つの場合でモデルを生成し、それぞれについて、その性能と重要変数を調べる。

### 4. 瞬時値と傾向値の比較と重要変数

#### 4.1 ストレスの推定

本章では、皮膚特性について瞬時値を私用したモデルと、皮膚特性について傾向値を利用したモデルで、ストレスの有無の識別結果と、良悪の分類結果をそれぞれ示す。また、各被験者の重要変数度の比較を示す。

本研究では、教師あり機械学習アルゴリズムの RandomForest に被験者から得た生体データを与えることで、ストレスを推定した。学習データとテストデータの比率は、Python の scikit-learn に実装されている train\_test\_split 関数のデフォルト値を参考とした。学習データを75%とし、テストデータを25%として推定と評価を行なった。また、各被験者のモデルに対して過学習している可能性を考慮し、k分割交差検証の平均値を算出している。交差検証の分割数は5で設定した。さらに、評価指標として AUC も算出した。AUC は、ROC(Receiver Operating Characteristic Curve) が描く曲線の下側面積のことで、二値分類の評価指標である。サンプリング数に偏りがある場合にも適切に評価できる特徴をもつ [3]。

#### 4.2 ストレスの有無の識別

本実験において、ストレスなしの状態が存在したと申告した被験者は少なかった。また、ストレスありの状態とストレスなしの状態のサンプリング数に大きな偏りがあり、適切なモデルを作成することが難しい被験者が存在した。よって、各被験者のデータセットに対して、5%以上ストレスなしの状態が存在したと申告した6名の被験者のみを識別の対象とした。

皮膚特性について瞬時値を利用した識別モデルの結果を表1に示す。また、皮膚特性について傾向値を利用した識別モデルの結果を表2に示す。

どちらのモデルでも、すべての被験者の精度が非常に高く、交差検証をした値とも大差がない。さらに、すべての被験者の AUC は 0.85 以上の値を出力している。よって、皮膚特性について瞬時値を利用したさいと、皮膚特

<sup>†</sup>立命館大学情報理工学研究所

<sup>‡</sup>(株) コネクトドット

性について傾向値を利用したさいのどちらにおいても、個人ごとにストレスの有無の識別モデルを構築することは可能である。

表 1: 皮膚特性に瞬時値を利用したストレスの有無の識別

被験者番号	精度	交差検証平均値 (k=5)	AUC
3	0.98	0.97	0.87
4	1.0	0.98	1.0
6	0.96	0.98	0.95
7	0.98	0.97	0.97
10	0.97	0.97	0.91
16	0.95	0.97	0.85

表 2: 皮膚特性に傾向値を利用したストレスの有無の識別

被験者番号	精度	交差検証平均値 (k=5)	AUC
3	0.98	0.96	0.94
4	0.99	0.97	0.97
6	0.97	0.96	0.95
7	0.92	0.95	0.89
10	0.95	0.94	0.93
16	0.95	0.97	0.87

皮膚特性に瞬時値を利用した識別モデルについて、各被験者の重要変数度を比較した結果を図 1 に示す。

被験者 3, 被験者 6, 被験者 7 は、発汗と周辺皮膚温度が上位 2 位を占めており、これら 2 つの変数の合計が 50% 以上の重みを保持している。その他の変数は 0.15 以下の値であり、モデルに大きく寄与していないことが判る。被験者 4 と被験者 16 について、各重要変数度が類似している。重要変数の値に少しの違いはあるが、全体的に滑らかな推移になっている。ここでいう滑らかとは、各重要変数の値を降順で見たときに、重要変数の順位と比例して値がほぼ均等に小さくなっている状態をさす。

すべての被験者について、重要変数上位 3 位以内に発汗と周辺皮膚温度が存在している。また、重要変数第 7 位が容積脈波変動である。よって、皮膚特性について瞬時値を利用して、ストレスの有無の識別モデルを構築するにあたって特に重要となる変数は、発汗と周辺皮膚温度で、そのほかの変数もモデルの構築を左右する可能性が高い。さらに、容積脈波変動は比較的重要ではない変数である可能性が高い。

皮膚特性に傾向値を利用した識別モデルについて、各被験者の重要変数度を比較した結果を図 2 に示す。

被験者 7 のみ、周辺皮膚温度の変数重要度が突出している。しかし、表 1 と比較すると、重要変数第 1 位と第 2 位の寄与率が低くなった被験者が多く、重要変数の値が滑らかな推移となっている被験者が増加した。被験者 3 は発汗が重要変数第 1 位に存在し、被験者 4, 被験者 7, 被験者 10 は周辺皮膚温度が重要変数第 2 位以内に存在している。また、被験者 6 と被験者 16 は発汗と周辺皮膚温度が重要変数の上位 2 位を占めている。よって、発汗と周辺皮膚温度の少なくともどちらか一方は、各被験者の重要な変数となっている。また、すべての被験者の容積脈波変動の値は 0.10 未満であり、重要変数第 7 位

に存在している割合も高い。したがって、皮膚特性について傾向値を利用して、個人ごとのストレスの有無の識別モデルを構築するにあたって特に重要となる変数は、発汗と周辺皮膚温度のどちらか一方、もしくは両方であり、他の変数もモデルの構築を左右する可能性が高い。さらに、容積脈波変動は比較的重要ではない変数である可能性が高い。

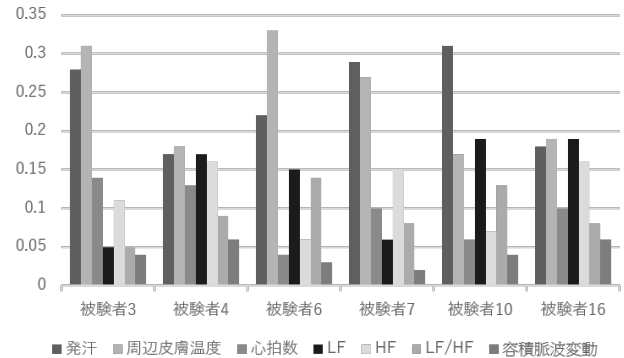


図 1: 皮膚特性に瞬時値を使用した識別モデルの重要変数

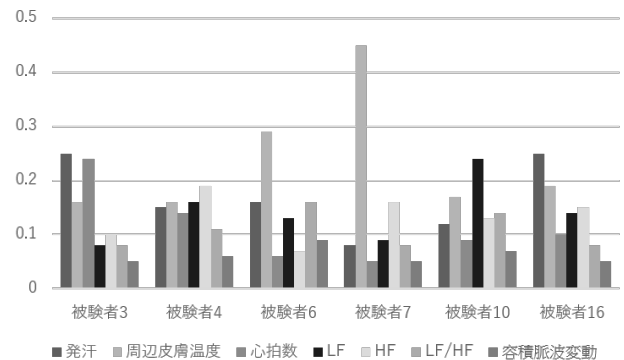


図 2: 皮膚特性に傾向値を使用した識別モデルの重要変数

#### 4.3 ストレスの良悪の分類

実験を実施した 12 名のすべての被験者について、ストレスの良悪を分類した。

皮膚特性について瞬時値を利用した分類モデルの結果を表 3 に示す。また、皮膚特性について傾向値を利用した分類モデルの結果を表 4 に示す。

皮膚特性について瞬時値を利用したモデルに関しては、すべての被験者の精度が 0.95 よりも高く、交差検証平均値とも大差はなかった。また、AUC の値が 0.91 以上であることから、皮膚特性について瞬時値を利用して、ストレスの良悪を分類することは可能である。

皮膚特性について傾向値を利用したモデルに関して、精度、交差検証平均値、AUC の値のすべてにおいて、表 3 の瞬時値による分類モデルよりも低下している被験者が多く存在している。とくに、AUC の値が瞬時値による分類モデルでは 0.90 以上を保持していたのも関わらず、傾向値による分類モデルでは 3 名の被験者が 0.90 未満であり、全体的に値が減少している。しかし、精度の値は 0.89 以上であり、交差検証平均値とも大差はなく、

AUCも有意な値を保持している。よって、少し性能は低下するが、皮膚特性について傾向値を利用して、ストレスの良悪を分類することは可能である。

表3: 皮膚特性に瞬時値を利用したストレスの良悪の分類

被験者番号	精度	交差検証平均値 (k=5)	AUC
3	0.95	0.95	0.94
4	0.97	0.96	0.97
6	0.99	0.99	0.99
7	1.00	1.00	1.00
8	0.96	0.96	0.91
10	1.00	0.99	1.00
11	0.97	0.95	0.94
12	0.96	0.97	0.91
13	0.98	0.98	0.98
15	0.98	0.97	0.98
16	0.96	0.96	0.95
19	0.99	0.98	0.99

表4: 皮膚特性に傾向値を利用したストレスの良悪の分類

被験者番号	精度	交差検証平均値 (k=5)	AUC
3	0.98	0.97	0.98
4	0.94	0.97	0.94
6	0.98	0.98	0.98
7	0.99	0.99	0.98
8	0.97	0.98	0.94
10	0.90	0.89	0.87
11	0.89	0.92	0.75
12	0.93	0.96	0.84
13	0.93	0.93	0.90
15	0.97	0.98	0.98
16	0.93	0.92	0.90
19	0.94	0.90	0.94

皮膚特性に瞬時値を利用した分類モデルについて、各被験者の重要変数度を比較した結果を図3に示す。

各被験者の上位2つの重要変数が、発汗と周辺皮膚温度のどちらか一方、もしくは両方である。さらに、すべての被験者について、少なくともどちらか一方の重要変数度が突出している。また、すべての被験者の容積脈波変動の値は0.05未満であり、重要変数第7位に存在する割合が高い。よって、皮膚特性について瞬時値を利用して、ストレスの分類モデルを構築するにあたって重要となる変数は、発汗と周辺皮膚温度あり、容積脈波変動は重要ではない可能性が高い。

皮膚特性に傾向値を利用した分類モデルについて、各被験者の重要変数度を比較した結果を図4に示す。

図3にて突出した重要変数を保持していた、被験者4、被験者6、被験者7、被験者8、被験者16について、図4では、変数重要度1位の変数が異なっている。特に、図3にて重要度1位が発汗である被験者は、図4では周辺皮膚温度になり、周辺皮膚温度の被験者は発汗になっている。よって、皮膚特性について傾向値を利用した場合は、重要変数が入れ替わるが、以前として発汗と周辺皮膚温度が高いことが判った。他の被験者については滑ら

かな推移をしている被験者が多い。よって、皮膚特性について傾向値を利用した分類モデルにおいて、発汗と周辺皮膚温度が重要となる被験者と、すべての変数が重要となる被験者に分かれる可能性が高い。

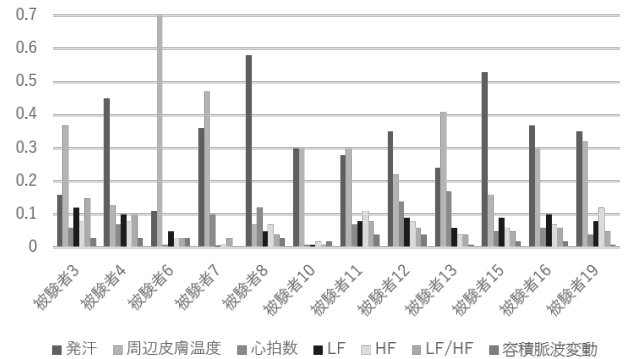


図3: 皮膚特性に瞬時値を利用した分類モデルの重要変数

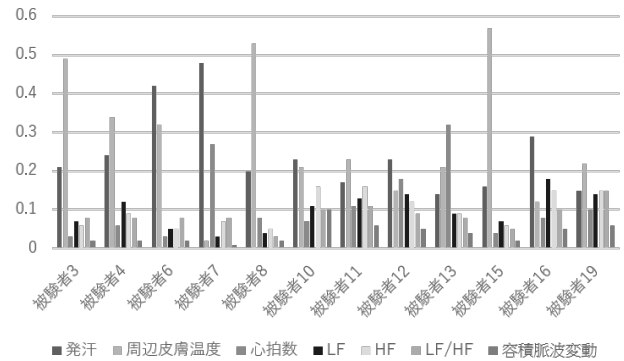


図4: 皮膚特性に瞬時値を利用した分類モデルの重要変数

## 5. 考察

### 5.1 傾向値の算出

本論文では、皮膚特性について瞬時値を利用したデータセットと、皮膚特性について傾向値を利用したデータセットの2パターンにおいて、ストレスを推定した。皮膚特性について傾向値を利用したさいの傾向の算出は、一定時間だけさかのぼった時点から現時点までの変分として、一定時間を90秒とした。本節では、本論文で使用した90秒が適切であったかについて考察する。

90秒が適切であったかを考察するにあたり、他の時間で傾向を算出したさいのAUCの値を比較する。本節で比較に利用した一定時間は、10秒・15秒・30秒・45秒・60秒・90秒・100秒である。それぞれで傾向を算出し、ストレスの有無の識別と良悪を分類した。

ストレスの有無を識別したさいのAUCの比較を表5に示す。被験者7と被験者16を除く4名の被験者のAUCについて、一定時間を90秒としたときがもっとも高かった。また、被験者16は90秒と100秒のときが並んでもっとも高く、被験者7は90秒のときが2番目に高い数値となった。

ストレスの良悪を分類したさいの AUC の比較を表 6 に示す。被験者 3 と被験者 7 の AUC は 90 秒と 100 秒のときが、被験者 13 の AUC は 45 秒, 60 秒, 90 秒のときが並んで高くなっている。被験者 4 は 60 秒での AUC が、被験者 16 は 45 秒での AUC がもっとも高くなっている。それ以外の被験者 8 名の AUC は 100 秒のときがもっとも高い数値となった。

表 5: 傾向値を異なる時間で算出した識別モデルの AUC

被験者番号	10s	15s	30s	45s	60s	90s	100s
3	0.75	0.78	0.74	0.81	0.87	0.94	0.87
4	0.77	0.83	0.93	0.90	0.86	0.97	0.90
6	0.90	0.86	0.91	0.88	0.91	0.95	0.94
7	0.67	0.75	0.81	0.81	0.85	0.89	0.93
10	0.76	0.79	0.80	0.84	0.87	0.93	0.92
16	0.75	0.79	0.81	0.79	0.86	0.87	0.87

表 6: 傾向値を異なる時間で算出した分類モデルの AUC

被験者番号	10s	15s	30s	45s	60s	90s	100s
3	0.80	0.81	0.92	0.90	0.95	0.98	0.98
4	0.87	0.87	0.94	0.93	0.97	0.94	0.93
6	0.88	0.91	0.97	0.98	0.97	0.98	0.99
7	0.90	0.91	0.95	0.93	0.93	0.98	0.98
8	0.76	0.77	0.82	0.85	0.92	0.94	0.95
10	0.69	0.71	0.74	0.76	0.78	0.87	0.89
11	0.74	0.72	0.70	0.74	0.69	0.75	0.77
12	0.73	0.71	0.75	0.78	0.78	0.84	0.88
13	0.83	0.87	0.88	0.91	0.91	0.90	0.91
15	0.81	0.84	0.92	0.95	0.96	0.98	0.99
16	0.86	0.87	0.86	0.92	0.91	0.90	0.82
19	0.82	0.87	0.91	0.94	0.92	0.94	0.95

表 6 で示した AUC にて、100 秒のときがもっとも高かった被験者 8 名に関して、それぞれ 90 秒と 100 秒の AUC の値に大差はない。もっとも大きく離れている被験者 12 は 0.04 である。また、もっとも高かった期間が 100 秒ではない被験者 16 に関して、90 秒と 100 秒の期間では、90 秒での AUC の方が 0.08 も大きい。そのうえ、表 5 で示した AUC のうち、90 秒のときがもっとも高かった被験者 4 名に関して、それぞれ 90 秒と 100 秒での AUC の差は最大で 0.07 である。

したがって、100 秒での AUC がもっとも高かった被験者は 90 秒での AUC と大差がなく、90 秒での AUC がもっとも高かった被験者に関しては 100 秒の AUC と大きく離れている割合が高い。よって、本論文において傾向値の算出のさいに使用した 90 秒は適切である。

## 5.2 ストレス推定の重要変数

仕事に従事している対象者のストレスを推定するにあたり、可能な限り低侵襲なセンサによる測定が望ましい。そのためには、各被験者に共通して重要となる変数を探索することが重要である。本節では、実験結果をもとに、ストレスの推定に重要となる変数について考察する。

ストレスの有無の識別に関して、皮膚特性について瞬時値もしくは傾向値を利用したどちらのモデルとも、発汗と周辺皮膚温度の重要度が非常に高く、そのほかの変

数もモデルに寄与している被験者が多い。また、ほとんどの被験者の容積脈波変動は、重要度がもっとも低い。

ストレスの良悪の分類に関して、皮膚特性について瞬時値を利用したモデルでは、発汗と周辺皮膚温度が重要であり、そのほかの変数も比較的重要ではなかった。とくに、容積脈波変動の重要変数度は極めて低かった。皮膚特性について傾向値を利用したモデルでは、発汗と周辺皮膚温度が突出して重要な被験者と、すべての変数が重要な被験者の 2 パターン存在した。

したがって、ストレスの有無の識別と良悪の分類で特に重要となる変数は、発汗と周辺皮膚温度である。また、心拍に関わる変数は、ストレスの有無の識別に有効である。さらに、容積脈波変動はヒトのストレスを推定するうえで重要ではない。

## 5.3 瞬時値と傾向値

本論文では、センサによる蒸れの影響が無視できない可能性があるとして、皮膚特性について瞬時値を用いるさいと、皮膚特性について傾向値を用いるさいの 2 通りについて、それぞれ識別モデルと分類モデルを構築した。本節では、各章の比較したモデルの性能結果をもとに、ストレスの予測にはどちらが適しているかを考察する。

ストレスの有無の識別について、4.2 の結果より、皮膚特性についてどちらを利用した場合でも性能は大きく異ならない。ストレスの良悪の分類について、4.3 の結果より、皮膚特性について瞬時値を利用した方がわずかではあるが、AUC の値が高い。また、皮膚特性について瞬時値を利用したすべての被験者の重要変数は発汗と周辺皮膚温度が大半を占めているのに対し、傾向値を利用した場合は 2 パターンに分かれているため分類が難しい。

したがって、ウェアラブルセンサを用いてヒトのストレスの推定をするにあたり、皮膚特性について瞬時値を利用した方がよい。

## 6. おわりに

本論文では、先行研究 [1] をより実用的なものにするために、ウェアラブルセンサの装着自体が生体データに及ぼす影響と、ヒトのストレス推定における重要変数について考察した。本研究の結果より、ウェアラブルセンサの蒸れは考慮しないで良いことが判った。また、ストレス推定に重要となる変数は発汗と周辺皮膚温度であり、容積脈波変動は重要ではないことが判った。

## 参考文献

- [1] 若林 直哉, 島川 博光, 原田 史子, ウェアラブルセンサを用いたストレスの識別と分類による仕事の推奨, 第 65 回情報制御学会研究発表講演会 (2021), Gsc-02-3.
- [2] Robert M. Yerkes, John D. Dodson, The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation, *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, Vol.18, Issue.5, pp.459-482, 1908.
- [3] Jin Huang, C. X. Ling, Using AUC and accuracy in evaluating learning algorithms, *IEEE transaction on knowledge and data engineering*, Vol. 17, Issue. 3, 2005.