

筋電位による操作をもとにした機械学習の教材について

北本 卓也・伊藤 正剛*¹

On Machine Learning Materials Based on Manipulation by EMG Potential

KITAMOTO Takuya, ITO Masataka*¹

(Received December 14, 2023)

キーワード：筋電位、筋電位、学習教材

はじめに

本論文では、筋電位を基盤とした機械学習の探求に焦点を当てた、機械学習の学習教材を紹介する。この教材では、筋電位を用いてパソコンのカーソルを操作するシステムの構築に焦点を当て、そのシステムにおいて使用される機械学習手法について学ぶ。

本教材の特徴は、機械学習の理論を学ぶだけでなく、実際のシステム構築と応用にフォーカスした総合的な学習体験を提供することである。学習者は、keras を用いたディープラーニングを通じてニューラルネットワークの基礎から応用までを学習する。また、pycaret を活用した複数の手法 (Linear Regression, RandomForestRegressor など) を学び、これらの手法を筋電位システムの開発への応用例を見る。

機械学習の基本原則から、実際の応用とシステム開発に至るまで、本教材は幅広いスペクトラムをカバーしている。これにより、学習者は単なる理論だけでなく、実用的な手法やシステム開発の現場での知識とスキルを獲得することができる。さらに、実践的な観点から機械学習手法の理解を深め、将来の応用や研究への展望を探求する。

1. 筋電位を用いてパソコンのカーソル操作を行うシステムの概要

1-1 システムの構成とデータの流れ

このシステムは、スポーツセンシング社の DSP ワイヤレス筋電センサを用いて、パソコンのカーソルを筋電位のデータによって操作することを目的としている。システムの構成は3つの機器からなる。スポーツセンシング社の DSP ワイヤレス筋電センサ、パソコンの USB ポートに接続するデータ送受信装置、パソコンである。データの流れは次の通りである。

1. センサからのデータ受信：スポーツセンシング社の DSP ワイヤレス筋電センサが筋電位のデータを取得する。
2. データ送受信装置を介したパソコンへのデータ転送：SS-RF24TR1 / SS-RF24TR2 というデータ送受信装置をパソコンの USB ポートに接続し、無線接続する。これにより、筋電位のデータがパソコンに転送される。
3. Python プログラムによるデータ解析とカーソル操作：パソコン側で動作している Python プログラムが、受信した筋電位のデータを受け取り、解析してパソコンのカーソルを操作します。

以上のフローにより、筋電位の取得からデータの受信、解析、カーソルの操作までのプロセスが構築されている。

* 1 放送大学

1-2 筋電位を用いたパソコンのカーソル操作

筋電位を用いたパソコンのカーソル操作を行うには次のステップを行う。

1. モデルの構築（筋電センサの装着）：筋電位は、筋肉の活動によって生じる電気信号である。筋電位を取得するためにスポーツセンシング社の DSP ワイヤレス筋電センサではセンサパッドを筋肉に貼り付けることで、筋電位を取得することができる。まず、モデルを構築するために、筋電位センサを装着する（スポーツセンシング社の DSP ワイヤレス筋電センサについては次節を参照）。
2. モデルの構築（データの収集）：対象者の動作を行ってもらい、筋電位のデータを取得する。データの収集を行う際には、データを十分な量を取得する要注意する必要がある（データ量が少ない場合、学習モデルの性能が低下する可能性がある）。
3. モデルの構築（データの前処理）：取得したデータは、学習モデルに入力できるように前処理を行う。前処理には、「欠損値の補完」「異常値の除去」「標準化」のようなものがある。データの前処理を行う際には、学習モデルの性能に影響を与えないように注意する必要がある。
4. モデルの構築（モデルの学習）：データの前処理が完了したら、学習モデルを作成する。学習モデルの作成には、以下の手順に従う。「1. 学習アルゴリズムの選択」「2. ハイパーパラメータの設定」「3. 学習の実行」ここで、学習アルゴリズムは、目的やデータの特性に合わせて選択する必要がある。ハイパーパラメータは、学習アルゴリズムの性能を調整するために使用するパラメータで、この値の設定は、試行錯誤しながら最適な値を探すのが通例である。
5. モデルの評価：学習モデルが適切に学習できているかを確認するために、評価を行う。ここで学習モデルの精度が高くない（被験者の動作が正確に把握できない場合）は、上のステップ2へ戻り、モデルの構築をやり直す。
6. モデルの適用：作成されたモデルを用いて被験者の動作を推定し、パソコンのカーソルを動かす。

1-3 スポーツセンシング社の DSP ワイヤレス筋電センサ

本研究では、スポーツセンシング社の DSP ワイヤレス筋電センサを使用して筋電位を取得している。このセンサは、湿式の加速度および角速度を測定する 6 軸センサを搭載し、加速度±16G および角速度±1500dps の範囲での測定を可能としている。また、センサパッドを使用する EMG センサも活用され、積分筋電（IEMG）を内部で演算するなどの機能を備えている。この筋電センサの特長としては、以下の点が挙げられる。

- 6 軸センサ（加速度：±16G/角速度：±1500dps）を搭載
- 無線とアクティブ筋電電極を一体化
- 積分筋電（IEMG）を内部で演算
- 小型かつ軽量（電池を含む重量はわずか 15g）
- ワイヤレスでの計測制御および計測データのモニタリング可能
- 計測データは内蔵メモリへ保存し、計測後に保存データの取得が可能
- 無線制御可能なプログラマブルゲインアンプを搭載。筋電センサの感度を変更可能
- 専用内蔵充電電池により、連続約 4 時間の動作
- 複数のワイヤレス筋電センサを同時使用が可能（最大 254 台へ、制御信号を一斉に送信可能）
- DSP ワイヤレス 9 軸モーションセンサ等と同時に使用が可能
- 低価格

筋電位の取得には、これらの特徴を活かした計測プロセス（スポーツセンシング社から提供されるライブラリ）が実施されており、そのプロセスを通じて、プログラミング言語 Python からその信号を取得することができる。

2. 機械学習の手法

上の「1-2 筋電位を用いたパソコンのカーソル操作」のステップ4における「モデルの構築（モデルの学習）」において、「1. 学習アルゴリズムの選択」を行う必要があるが、この学習アルゴリズムには

様々なものがあるため、状況に応じて適切なものを選択する必要がある。本章では、Python で実行できる機械学習のアルゴリズムについて解説する。

2-1 ディープラーニングとディープラーニング以外の機械学習の特徴と違い

まず、ディープラーニングとそれ以外の機械学習の違いについて解説する。ディープラーニングとディープラーニング以外の機械学習の最も大きな違いは、ニューラルネットワークの層の数である。ディープラーニングでは、複数の中間層を設けることで、より複雑な処理を行うことができる。一方、ディープラーニング以外の機械学習では、中間層が少なく、単純な処理しか行うことができない。この違いにより、ディープラーニングは、画像認識、音声認識、自然言語処理など、複雑な処理が要求される分野で高い精度を実現することができる。一方、ディープラーニング以外の機械学習は、分類や回帰などの単純な処理が要求される分野で用いられることが多い。また、ディープラーニングは、大量のデータを学習することで、高い精度を実現することができる。一方、ディープラーニング以外の機械学習は、少量のデータでも学習することができる。そのため、ディープラーニングは、大量のデータが得られる分野で用いられることが多く、ディープラーニング以外の機械学習は、データが少ない分野で用いられることが多い。ディープラーニングは、近年急速に発展しており、さまざまな分野で応用が進んでいる。一方、ディープラーニング以外の機械学習も、長年研究されており、その応用範囲は多方面に渡る。

ディープラーニングは画像認識、音声認識、自然言語処理などで高い精度を持ち、顔認識、医療画像診断、機械翻訳などの分野で応用されている。画像認識では物体認識や自然画像認識があり、医療分野では X 線や MRI などの医療画像を診断支援するためにも使われる。音声認識では音声入力、音声翻訳、音声合成、音声アシスタントなどがあり、自然言語処理では機械翻訳やテキスト生成、質問応答、感情分析、レコメンドシステムなどが利用されている。

一方で、ディープラーニング以外の機械学習手法は分類、回帰、クラスタリングなどで得意とされている。商品の分類や顧客の分類、病気の分類などの分野で広く用いられ、売上予測、生産量予測、需要予測、株価予測、気象予報などの予測に活用されている。さらに、顧客のグループ分けや Web ページの分類、画像や音声の分類などもこの手法によって行われる。それぞれの手法が異なる分野で効果的に応用され、データの特性や用途によって適切な手法を選択することが重要である。

2-2 Pycaret で分類問題に活用できる各種手法とそれらの特徴

Pycaret は Python 上でのパッケージであるが、これを用いると様々な機械学習に手法を一括して適用できるため、それぞれの手法の比較・検討に有用である。ここでは、今回のシステムで活用される分類問題に使える Pycaret 上の各種手法を紹介し、それらの特徴を解説する。

具体的な手法名は、ロジスティック回帰、決定木、ランダムフォレスト、XGBoost、LightGBM、CatBoost、SVM、Naive Bayes である。これらの手法の特徴と違いを表 1 に示す。

表 1：分類問題に使える Pycaret 上の各種手法の特徴と違い

モデル	特徴	違い
ロジスティック回帰	線形回帰の一種	複雑なデータには対応できない
決定木	データの特徴から分岐を繰り返し、最終的に分類を行う	過学習に注意が必要
ランダムフォレスト	決定木を複数組み合わせる	過学習を抑えたモデル

モデル	特徴	違い
XGBoost	ランダムフォレストの一種で、勾配ブースティングを用いる	精度の高いモデル
LightGBM	XGBoost の一種で、高速な学習と推論が可能	XGBoost よりも高速な処理が可能
CatBoost	決定木と勾配ブースティングを組み合わせる	カテゴリカル変数を扱う場合に優れた性能を発揮
SVM	データの特徴を線形で分離する	過学習に注意が必要
KNN	最も近いデータのクラスを予測する	複雑なデータには対応できない
Naive Bayes	各特徴が独立に分布していると仮定して、予測を行う	高速な処理が可能

3. 学習教材について

3-1 学習教材の意義

大学において、機械学習を含む AI 技術を学ばせることの重要性は、以下の 3 つの点に集約できる。

- AI 技術は、現代社会のあらゆる分野で必要不可欠な技術である：AI 技術は、すでに私たちの生活のあらゆる分野に浸透しており、今後もその重要性はますます高まっていくであろう。例えば、自動運転や医療診断、金融取引など、AI 技術なしでは実現できないものも少なくない。大学において AI 技術を学ぶことで、学生は AI 技術の基礎知識や応用技術を身につけ、社会で活躍するための準備をすることができる。
- AI 技術は、新しい価値を創造する可能性を秘めた技術である：AI 技術は、従来の方法では不可能だった課題を解決したり、新しい価値を創造したりする可能性を秘めている。例えば、AI 技術を活用することで、新たな製品やサービスを開発したり、社会の課題を解決したりすることが可能になる。大学において AI 技術を学ぶことで、学生は AI 技術の可能性を理解し、新しい価値を創造する能力を身につけることができる。
- AI 技術は、国際競争力を高めるための重要な技術である：AI 技術は、世界中で急速に研究開発が進められており、国際競争が激化している。日本においても、AI 技術の研究開発を強化し、国際競争力を高めることが重要である。大学において AI 技術を学ぶことで、学生は AI 技術の研究開発に貢献する能力を身につけ、日本の国際競争力の向上に貢献することができる。

また、以下の 2 つの理由から、機械学習を含む AI 技術を学ばせるときに実際の応用例を組み込むことが重要であることがわかる。

- 学生の興味関心を喚起し、モチベーションを高める：AI 技術は、抽象的で理解が難しい技術であるため、学生の興味関心を喚起し、モチベーションを高めるために、実際の応用例を組み込むことが

重要である。例えば、自動運転や医療診断、金融取引など、身近な分野で AI 技術がどのように活用されているのかを学ぶことで、学生は AI 技術の重要性や可能性を理解し、学習への意欲を高めることができる。

- 実践的なスキルを身につけさせる：AI 技術は、理論だけでなく、実践的なスキルも重要である。実際の応用例を学ぶことで、学生は AI 技術を実際に活用するためのスキルを身につけることができる。このように、大学においては、機械学習を含む AI 技術を学ばせるときに、実際の応用例を組み込むことが重要である。これにより、学生の興味関心を喚起し、モチベーションを高め、実践的なスキルを身につけさせることができる。

このように、大学においては、機械学習を含む AI 技術を学ばせるときに、実際の応用例を組み込むことが重要である。これにより、学生の興味関心を喚起し、モチベーションを高め、実践的なスキルを身につけさせることができる。このような観点から本教材では、主題として実社会での応用が期待されている筋電位を用いた機械学習を取り上げ、この教材を通じて機械学習の実践的な応用例を学ばせることとした。

3-2 学習教材の構成

学習教材は Moodle 上に構築している。その構成を次に挙げる。

- 導入：機械学習と筋電位センサーを使用した操作の概要
- 導入：本教材の目標と期待される効果
- 導入：関連するビデオや資料へのリンク
- 実践：実験準備手順
- 実践：実験の手引
- 実践：電極貼り付け部分
- 解説：スポーツセンシング社の筋電位測定器具について
- 確認テスト：スポーツセンシング社の筋電位測定器具について
- 解説：ディープラーニングとディープラーニング以外の機械学習
- 確認テスト：ディープラーニングとディープラーニング以外の機械学習
- 解説：Pycare の概要
- 解説：Pycaret で使うことができる機械学習の手法
- 解説：Pycaret の応用例について
- 解説：Pycaret で機械学習の分類問題に活用できるモデル
- 確認テスト：Pycaret
- 解説：筋電位と機械学習を用いた動作識別
- 確認テスト：筋電位と機械学習を用いた動作識別

学習教材は3つのカテゴリからなっている。「導入」「実践」「解説と確認テスト」である。まず、「導入」で機械学習と筋電位センサーを使用したパソコンのマウス操作の概要を学ぶ。その後、「実践」で実際にマウス操作を体験するようになっている。このように実践を組み入れることで、学んだ知識が活かしたものとして記憶に定着し、今後の学習の動機づけとなることを期待している。「実践：実験準備手順」の資料に記載されている図を参考のために図1に示す。

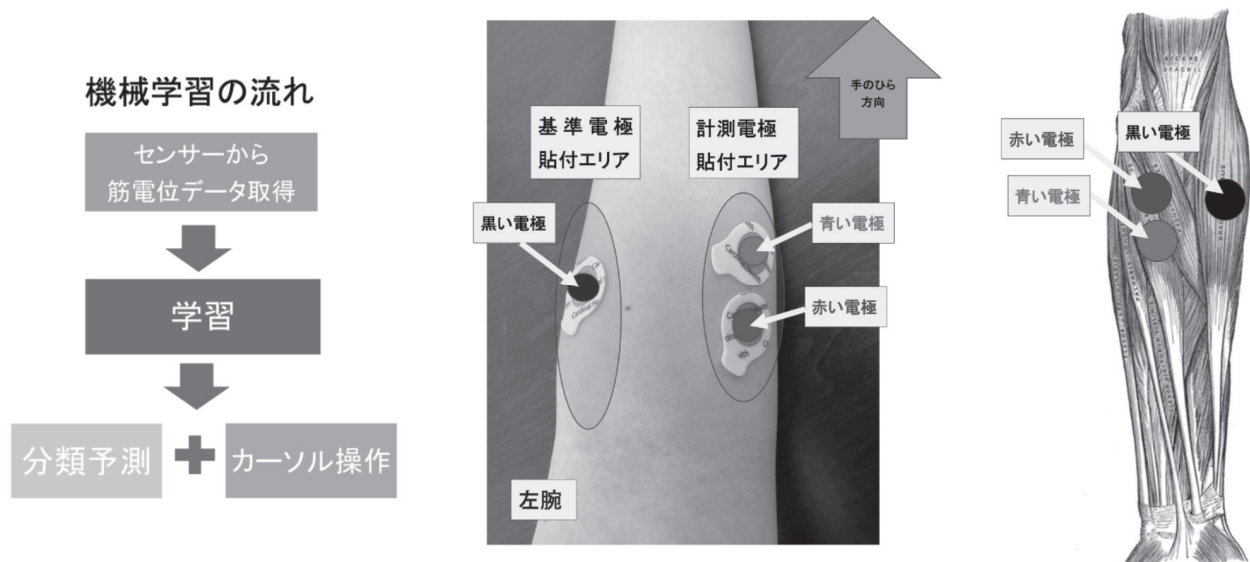


図 1：実験準備手順に資料に記載されている図

また、「実践：実験の手引」には次のような学生への実験への指示が記載されている。

1. はじめに動作の練習を少ししたいと思います。握り、反りと動作なしの説明をしますので、同じように動かしてみてください。
2. 取り付けられたセンサパッドを見て、自分で腕にセンサパッドを 3 か所取りつけてみてください。貼る位置は説明します。わからない場合は言ってください。
3. センサ本体を取り付けます。写真を見ながら、赤・青・黒の電極を取りつけてみてください。電極をつけるとき少し強く押してください。センサ本体は、テープを使いこちらが取り付けます。テーピング用のテープですが、皮膚に違和感があれば遠慮なく言ってください。
4. 指示通り、握る動作を 10 回と反る動作を 10 回行ってください。動作を行うとき、「はい、握ってください」などと合図を出しますので、それに合わせてみてください。心電図を記録するようなものです。
5. 次に、テキストカーソルを右や左に動かしてみましよう。3 のときにした動作と同じになるように気をつけましよう。
6. 実験終わりです。電極は授業の終わりまで一応つけたままにしてください。皮膚に違和感があれば外してください。

実際の実験（体験）は上の手順に従い、行っていく。上の手順からわかるように実験では学習モデルの構築から筋電位による動作予測まで体験するようになっている。

最後の「解説と確認テスト」は「解説」と「確認テスト」がセットになったものである。実験を行った後にその経験を踏まえて、そこで使われた機器や技術などについて学び、学習事項の定着を図る。機械学習については、ディープラーニングとそれ以外の手法の違いや Pycaret についてここで学ぶ事になっている。

4. 考察

4-1 学習教材の課題

今回構築した学習教材の課題として考えられることを次に挙げる。

4-1-1 学習教材の構成に関する課題

1 つのテーマに対して、解説記事とその確認テストからなる学習教材は、単純でわかりやすい構成であるというメリットがあるが、学習内容が体系的に理解しにくいというデメリットもある。初学者向けの学習教材であれば、基礎的な内容を体系的に理解できるように構成する必要がある一方、経験者向けの学習教材で

あれば、より深い内容を掘り下げるような構成にする方がよい。故に学習対象者のニーズや学習目的を明確にし、それに合わせた構成にすることが重要である。

4-1-2 解説記事の内容に関する課題

今回作成した Moodle の解説はテキストベースになっているが、図や表などの視覚的な資料を活用することで、学習者の理解を促進することが求められる。また、初学者向けの解説記事であれば、専門用語をわかりやすく解説するなど、学習者のレベルに合わせた丁寧な説明を行う必要がある。

4-1-3 確認テストの形式の内容に関する課題

今回作成した Moodle の確認テストでは、選択問題のみを出題しているが、さまざまな形式を取り入れて学習者の理解度を多角的に評価することを検討する必要がある。また、学習対象者の学習レベルを検討してそれに合わせていく必要がある。

4-2 今後の展望

4-2-1 学習教材の構成の改善

初学者向けの学習教材であれば、基礎的な内容を体系的に理解できるように、学習内容を段階的に構成する。また、経験者向けの学習教材であれば、より深い内容を掘り下げるような、より専門的な構成にする。

4-2-2 解説記事の内容の改善

解説記事に、図や表などの視覚的な資料を適切に配置する。また、専門用語を初めて使用する際には、その意味をわかりやすく解説する。

4-2-3 確認テストの形式の改善

選択問題だけでなく、記述問題や実践的な課題など、さまざまな形式を取り入れる。また、学習対象者の学習レベルに合わせて、問題の難易度を調整する。

4-2-4 その他の改善

上記の他にも次のような改善案が考えられる。

- 学習者の学習状況の把握：学習教材に、学習者の理解度を把握するための仕組みを組み込み、学習者の学習状況を把握することで、学習効果を高める。
- 学習者のモチベーションの維持：学習教材に、学習者が達成感を感じられるような仕組みを組み込み、学習者のモチベーションを維持する。
- 学習教材の更新：機械学習の技術は日々進歩しているので、習教材の内容を最新の状況に合わせて更新することで、学習者のニーズを満たす。
- 学習教材のオープン化：学習教材をオープン化することで、学習教材の質の向上や、学習教材の共有を促進する。

おわりに

本論文では、筋電位を基盤とした機械学習の探求に焦点を当てた、機械学習の学習教材を紹介した。この教材は、筋電位を用いてパソコンのカーソルを操作するシステムの構築に焦点を当て、そのシステムにおいて使用される機械学習手法の紹介を行う。

本教材の特徴は、機械学習の理論を学ぶだけでなく、実際のシステム構築と応用にフォーカスした総合的な学習体験を提供することである。学習者は、keras を用いたディープラーニングを通じてニューラルネットワークの基礎から応用までを学習する。また、pycaret を活用した複数の手法 (Linear Regression, RandomForestRegressor など) を学び、これらの手法の筋電位システムへの応用例を見る。

機械学習の基本原則から、実際の応用とシステム開発に至るまで、本教材は幅広いスペクトラムをカバー

している。これにより、学習者は単なる理論だけでなく、実用的な手法やシステム開発の現場での知識とスキルを獲得することができる。さらに、実践的な観点から機械学習手法の理解を深め、将来の応用や研究への展望を探求する。

本論文では、学習教材の課題と今後の展望について考察した。課題としては、学習教材の構成、解説記事の内容、確認テストの形式などが挙げられる。これらの課題を踏まえて、今後は以下の点について改善していく予定である。

学習教材の構成：初学者向け、経験者向けなど、対象者に合わせた構成とする。

解説記事の内容：図や表などの視覚的な資料を活用し、専門用語をわかりやすく解説する。

確認テストの形式：選択問題だけでなく、記述問題や実践的な課題など、さまざまな形式を取り入れる。

また、上記の他にも、学習者の学習状況の把握、学習者のモチベーションの維持、学習教材の更新、学習教材のオープン化などの改善も検討している。本教材は、今後も継続的に改善を重ねながら、より多くの人に機械学習の学習機会を提供していきたいと考えている。

参考文献

伊藤正剛・北本卓也：「筋電位を利用した深層学習による手の動作識別について」, 山口大学 教育学部研究論叢, 第 72 巻, PP. 227-235, 2023.

吉川雅博・三河正彦・田中和世：「筋電位を利用したサポートベクターマシンによる手のリアルタイム動作識別」, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J92-D, No. 1, pp. 93-103, 2009.

伊藤正剛：「筋電位を利用した深層学習における手の動作識別について」, 放送大学 卒業研究論文, 2022.