

研究課題	高大連携によるナノバイオマテリアルを活用した新たな理科教材に関する研究
副題	～超軽量・柔軟な導電性高分子ナノシートを用いて植物葉生体電位を測定する教材開発～
キーワード	生体電位測定、プログラミング教材、Scratch
学校/団体名	早稲田大学高等学院
所在地	〒177-0044 東京都練馬区上石神井 3-31-1
ホームページ	https://www.waseda.jp/school/shs/

1. 研究の背景

本校では現在までに、早稲田大学をはじめ、様々な大学・研究機関等と連携を図りながら、通常の数学や理科等の授業科目だけでなく、大学準備講座や自由選択科目といった学校設定科目や総合的な学習の時間を活用して、自然現象や科学的事象に幅広く関心を持ち、生徒が自ら課題を設定し、探究活動を行う主体的な学習活動を推進してきた。特に総合的な学習の時間や放課後等の時間を活用して、生徒個人個人が『卒業論文』を作成し提出することが本校の特色の一つであり、一年間ないし三年間を通して研究した内容を生徒自身がまとめ、高校3年生の2学期（10月末頃）に提出する。卒業論文指導の過程で、専門的な技術や材料が必要になる場合には大学等と協力関係を構築することがあり、2018～2019年に本校生徒によって植物葉の電位測定に関する卒業研究が行われた際に、当時早稲田大学に所属のあった藤枝 俊宣 氏（2020年度時点、東京工業大学 講師）の協力を得られた。これにより、導電性高分子ナノシートを植物葉に貼付することで、従来の測定方法で課題とされていた低侵襲な電位測定がナノシート電極を使用することで可能であることが明らかとなった。この研究成果を受けて、理科実験教材として比較的扱いが容易な植物とICTを融合させた教材を開発し展開することで、今後より一層必要とされるコンピュータリテラシーの向上のみならず、教科横断的な探究能力の向上に十分寄与できると考え、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では、主に高校生を対象として、植物の性質や光合成等の代謝反応を生徒自身の手で検証可能な理科実験教材を開発することを目的とした。実験材料として、導電性高分子ナノシートを植物葉の生体電位を測定するための電極に用いた。ナノシートは高い柔軟性と物理接着性を有しているため、ナノ絆創膏として先行研究等で用いられており、葉脈等の微細な凹凸にも対応して貼付することができる。従来測定にはゲル電極が用いられていたが、貼付による葉への悪影響が懸念されていた。従来の方法とナノシートを用いた新たな方法で実験結果を比較し、具体的にどの様な違いがあるか、データをどう評価するか、実験方法を改善するにはどうするか等、研究活動において必要となる「考えるプロセス」を教材内に組み込む。また、本研究では、生体電位測定に教育用プログラミング教材を導入し、実験後に結果の解析・まとめ、発表による情報共有を実施することで、ICTを最大限に活かし、高校生に「探求力」を身に着けることを可能とする実践的な理科実験教材の開発を目指した。これらにより、単に実験結果を得て終えるのではな

く、その内容を生徒同士で共有し、実験精度を上げるためにはどうするか等、次の研究ステップを生徒達個人或いはグループで考えてもらえるような工夫を盛り込みたいと考えている。生徒自ら「研究過程」を実体験してもらうことで、生徒達に科学研究の面白さを伝えられる教材としたい。また、教材開発に際して、敢えてその研究過程に生徒の積極的な参入を図り、様々な場面で直接的に意見や協力を仰ぐことで、生徒目線から本教材の有効性を検討検証することが可能となると考えている。

3. 研究の経過

【実践研究助成前の本校の（準備）状況】

本校の現カリキュラムでは、1コマ50分授業で、「生物」科目では、高校2年次に「生物基礎」（文系コース及び理系コース必修2単位）、高校3年次に「生物学通論」（理系コース必修2単位）、自由選択科目（選択2単位）と大学準備講座（選択2単位）の一部を設置している。2年次には、1学期～2学期にかけて、細胞のつくりや代謝、植物分類の単元を学習し、同時期に並行して、ムラサキツクサ・ツバキを用いた原形質流動の顕微鏡観察や、マテバシイの葉を用いた陽葉と陰葉の構造の差異の確認、更に、光合成色素の分離、ヨウ素デンプン反応実験等、動物だけでなく植物に関しても一連の実験を取り入れている。また、1年次と2年次に情報（必修各1単位）の授業の中でR言語を基本としたプログラミング教材を積極的に導入しており、基礎知識・技能の定着を図っている。このことから、本校では、高校2年生を対象とした実験教材として授業内導入することを最終目標とした。しかしながら、1学年あたり生徒数が約500名で多いことから、まずは段階的に高校3年生の理系コースの一部を対象とした小規模の授業内導入と実践を行い、生徒からの意見徴収や実験コストの調整により教材の最適化を行った後、徐々に教材の対象人数を増やし、今後全体に広げていきたいと考えている。そこで、2020年度は、上記の通り高校3年生理系コースの一部を対象とした教材開発研究を主として行うこととした。

2019年度時点では、本研究の基盤となるナノシートの植物利用に関する論文投稿の準備をはじめ、必要な実験材料・機器のリスト化、一部材料の調達、ナノシートの供給に関する相談、貼付用の植物葉（アシタバ等）の準備、授業時に使用する説明用資料の作成に着手した。また、主に理科部生物班の生徒に協力してもらい、放課後等を利用して適宜事前指導・準備を進めていた。

【実践研究開始後の研究経過】

〔2020年度 1学期〕

（4～5月期）

新型コロナウイルス感染拡大の影響により、春休み延長及び休校期間となった。5月中旬よりオンライン授業（ZOOMを用いたリアルタイム授業やオンデマンドコンテンツによる授業を含む）が実施される中で、当初研究協力を予定していた理科部生物班の班員とZOOMを活用して打ち合わせを行うことができた。打ち合わせを重ねる間に、PythonやScratch等、ある程度の教育活用を見据えたプログラミング言語の学習や簡単な市販のプログラミング教材のキットを試してもらうなど、随時可能な範囲で教材作成への準備が出来るような取り組みを行った。

(6～7 月期)

6 月中旬から分散登校によって、生徒数を半減した形での対面授業が開始となったが、放課後の課外活動に時間制限があったため、昼休みの時間帯に打ち合わせを行うなど、時間調整に工夫を重ねることで研究活動を継続することが可能となった。教員側では、生徒が帰宅した放課後を中心に適宜教材研究を行った。研究協力を予定していた本校卒業生や藤枝講師らとの打ち合わせでは主に ZOOM を活用し、各々の取り組み状況を確認するとともに、1 学期授業期間の延長を受けて、7 月末の分散登校期間中に少しでも授業に組み込めないかを検討し、ナノシートの演示実験を小規模で授業内実践することができた。(写真 1) 具体的には、高校 3 年生の自由選択科目「バイオサイエンス特講」授業内(時短授業のため 35 分×2 コマ)で、受講者 26 名を半数の 13 名ずつ 2 回に分け、PPT スライド資料や後述のワークシートを活用しつつ、本教材に関する事前指導(植物の代謝反応の復習から先行研究を踏まえた電位測定の方法)を内容として取り上げた。



(8 月期～夏休み)

1 学期の研究打ち合わせでの意見、演示実験で得られた経験や生徒からのワークシート記載内容を確認し、その内容をまとめた。一方で、理科部生物班を対象に夏休みの期間を利用して、植物のみならず、試験的に筋電位測定装置を自作する研究活動を行った。(写真 2)



〔2020 年度 2 学期〕

(9～10 月期)

1 学期のワークシート内容を踏まえ、更にアンケートを実施した。その結果、生徒からヒトを含む動物を対象とした方が良いという意見が比較的多くあった。※後述の<アンケート結果 1>

一方で教材化に際して、Raspberry Pi 3 を測定装置としての活用を検討・調整を重ねていたが、コスト面の課題や、測定時のノイズ除去に苦戦する等、改めて整理すると様々な課題が見受けられた。そこで、本研究の植物生体電位測定に関する課題の解決と並行して、1 学期～夏休みに理科部生物班を対象に研究を行った自作筋電位測定装置の授業内活用を推進することとした。

(11 月期)

自由選択科目「バイオサイエンス特講」の授業(時短授業のため 40 分×2 コマ)で、受講者 26 名に対して、自作筋電位測定装置の作出を 2 人一組として授業内実践を行った。(写真 3)

演示実験だけでなく、適宜、動画コンテンツを利



用して、教員側で準備したプリント基板を基に計装アンブ・炭素被膜抵抗・積層セラミックコンデンサ等の電子部品のはんだ付けを行ったところ、1組を除いて殆どの生徒が測定用装置を完成させられた。同時に Scratch による筋電位測定プログラムの作出に関する教材化を図り、部分的に授業導入を行った。これに加えて、大学準備講座「現代の生命科学」授業内において、藤枝講師が実際に招聘講師という形で講義を実施していただくことが可能となり、授業の中でナノシートを用いた教材開発と授業実践に関して生徒や卒業生を含め、十分な議論を行うことができた（写真 4）。



写真 4

(12 月期～冬休み)

前述の「バイオサイエンス特講」や「現代の生命科学」の授業で得られた意見や経験を活かして、3 学期に高校 2 年生の「生物基礎」授業内での実践を試みることにし、その準備を行った。

〔2020 年度 3 学期〕

(2021 年 1～3 月期)

高校 2 年生の「生物基礎」の授業の一部で本研究による教材の授業内導入を試みた。残りの授業数・授業時間が限られていたため、高校 3 年生が 2020 年 11 月に作出した筋電位装置を再利用する形でデバイス側を準備し、Scratch による簡易的な筋電位測定プログラム作出演習を行った（写真 5）。そして、導入クラスと非導入のクラスに対して、プログラミングや課題研究に対するイメージ調査（5 段階評価）を行った。※後述の〈アンケート結果 2〉



写真 5

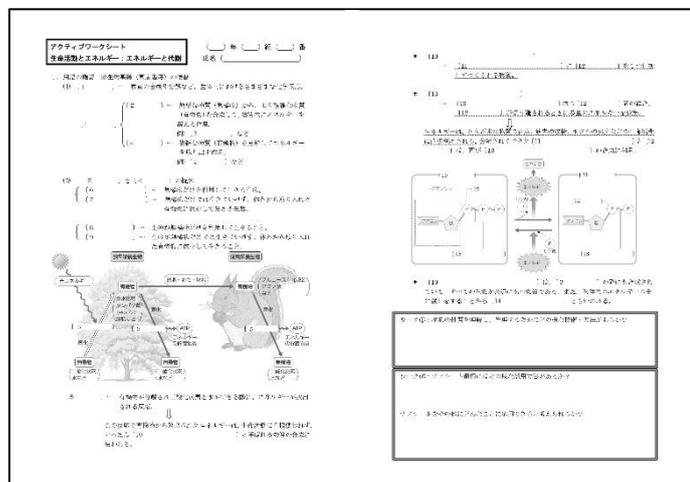
一方で、2021 年 3 月には、日本農芸化学会 2021 年大会にてナノシートの植物利用に関する研究発表と同時に本研究の成果の一部を発表した。

4. 代表的な実践

1. アクティブワークシート(事前学習ワークシート)の作成及びその活用と評価

本研究による教材の授業内導入時に扱うワークシートを作成した。

(資料 1) ナノシートを説明する PPT スライド資料と併用しつつ、「生物基礎」の単元内で扱う代謝（同化と異化）の違いから、それぞれの生物種に関する自然界の役割、そして



資料 1. 事前学習ワークシート

エネルギー循環とエネルギーの通貨としてのATP（アデノシン三リン酸）の話題を導入として実施し、順次穴埋め形式で生徒に空欄への解答を求めた。プリント記入の合間に、1度の授業あたり約5分間のグループワークを2回ずつ行い、植物の管理方法や各々が考えるナノシートの活用等を生徒目線で考えてワークシートに記入してもらった。

生徒の回答結果（26名分）が以下である。※回答結果の重複は除いている

ワーク①：植物の性質を理解し、管理するためにどのような方法・技術があるか？
【生徒回答】温室栽培、品種改良、ビニールハウス、ゲノム編集、ゲノム解析、遺伝子組み換え、水耕栽培、促成栽培、年輪測定、樹高測定、インキュベーター、顕微鏡、LED栽培、pH測定、デンプン量測定、世界遺産指定、自然保護区指定、肥料、間引き、間伐、オートメーション化、植物工場
ワーク②(1)：ナノシート電極にはどのような活用方法があるか？（授業内説明の部分）
【生徒回答】筋電測定、スポーツ研究、植物の生体電位、臓器の電位測定、傷口の保護
ワーク②(2)：ナノシートをその他にどのようなことに応用できると考えられるか？（生徒目線からの新たな発想を求める部分）
【生徒回答】脳波測定、医療、剣道や野球の下半身の筋肉の使い方、AR技術、水中での筋肉の動き、激しく変形する動く部分の電位測定、小動物の電位測定、子供（小児）の運動や医療 ※動き回るため、歌手やピアニスト等の音楽家の筋肉の使い方、障害を持つ人の筋電位測定、昆虫の電位測定、高齢者の身体機能測定、イップスの原因究明

ワーク②の生徒回答の内容から、“医学”“スポーツ科学”“人間科学”等の学問領域への興味関心がうかがえた。また、数名の生徒から「植物よりもっと身近なもの（“運動”等）を題材とした方が分かり易い」というコメントをもらったことから、改めて「生体電位測定に関して、“動物（ヒト含む）”と“植物”どちらを対象とした研究に興味関心があり、面白いと思いますか？」というアンケートを実施したところ、“動物”が61%（16名/26名）、“植物”が31%（8名/26名）、“その他”が8%（2名/26名）の結果となり、動物を対象とした研究に興味関心があるという回答が植物の場合の2倍近く多いという結果が得られた。〈アンケート結果1〉

以上の結果を踏まえ、植物葉の生体電位測定に関しては、教材化にかかるコストの削減及び測定時ノイズの削減の課題解決に取り組みつつ研究を継続し、これと並行する形で、先行研究を活用して、運動を伴う筋電位測定装置の作出～測定プログラムの作出までの教材化に取り組み、授業内実践することとした。

2. 生徒による自作筋電位測定装置の作出実験～Scratchによる筋電位測定プログラムの作出の授業内実践

教材化のコスト面また教育目的利用の観点から、ヒトを対象とする自作筋電位測定装置の作出にあたって、村岡 慶裕 氏（2020年度、早稲田大学人間科学部 教授）及びその研究グループによるリハビリテーションに活用可能な簡易筋電計を基盤として、理科部生物の生徒と卒業生、藤枝講師から協力を仰ぎながら本校内で教材活用できるようアレンジを重ねた。

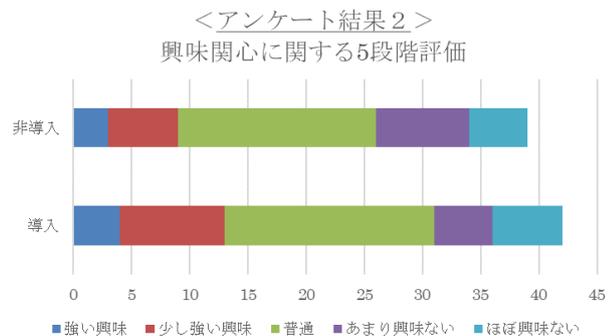
その結果、装置1個あたり1,000円程度で筋電位が測定できる簡易筋電計の作出が可能とな

った。また、装置作出にかかる時間を本来の授業時間である 50 分程度にまでおさえられるように工夫できることも明らかとなった。一方で、Scratch は無料で扱えることもあり、説明用 PPT スライド資料を作成・活用することで、生徒達に予想以上に円滑にプログラムを組んでもらうことができた。(資料 2) 授業実践の際、オンライン課題としてプログラムファイルの提出を行ったが、提出課題のうち 85% (22 名/26 名) について、筋電位の測定が可能なプログラムであった。



資料 2. Scratch による電位測定プログラム説明スライドの一部

一方で、3 学期の「生物基礎」授業内実践で、導入クラス (42 名) と非導入クラス (38 名) に対して「プログラミングや課題研究に対して興味関心がどれくらいあるか?」を 5 段階で評価してもらった。その結果、若干ではあるが教材導入のクラスで興味関心が比較的高い傾向が見受けられた。<アンケート結果 2>



5. 研究の成果

本研究の成果については、2021 年 3 月 18 日～21 日にオンラインで開催された日本農芸化学会 2021 年大会 (演題番号: 4G01-12) にて研究発表を行った。その他、今年度本研究に携わった数名の生徒において、卒業論文のテーマ設定や進路選択に主体性が増す傾向が見受けられた。

6. 今後の課題・展望

来年度以降は今回の経験を踏まえて、植物葉のみならず運動を伴う筋電位測定を教材に組み入れることで教材の活用の幅を広げたい。コロナ禍で、当初予定していた回数・規模での授業内実践が十分に行えず、データの解釈も不十分であると考えられる。来年度以降は有意差を求めると、得られたデータを統計上正確に解釈できるような形で実践に移せるように取り組みたい。

7. おわりに

新カリキュラム導入に伴い、生徒の探究活動がより一層求められる中、本研究による教材が今後活用されるように更なる発展を遂げ、生徒に『科学研究の面白さ・奥深さ』を伝えていきたい。

8. 参考文献

村岡慶裕、石尾晶代、武田湖太郎 (2014) 「ステレオマイク入力端子を用いた低コスト 2ch 筋電図バイオフィードバック装置」『Japanese Journal of Comprehensive Rehabilitation Science』Vol15、1-6