

# 心電図測定を取り入れた 高校生物における「心臓の活動調節」の学習

水谷友美\*†・深澤健吾\*\*・後藤太一郎\*

Lesson plan for leaning the regulation of the cardiac cycle  
using the electrocardiogram measurement in a high school

Tomomi Mizutani\*†, and Kengo Fukazawa\*\* , Taichiro Goto\*

## 要 旨

生物電気は生命活動を理解する上で本質的な仕組みであり、電気的な活動は私たちの健康診断にも用いられる。高校で活動電位など生物電気を学習するが、電気的応答を測定する実験や実習はほとんど行われていない。米国の BackyardBrains 社が教育用に開発した SpikerBox は生物電気を測定するアンプであり、iPad に接続して専用アプリで電気信号を簡単に記録することができる。この機器を活用した生物電気に関する実習の導入を検討するために心電図に着目し、心電図測定を取り入れた授業案の作成と教育現場での実践を行った。高校の生物基礎（1 学年 3 クラス）および理系生物（3 学年 1 クラス）で行ったところ、生物電気に関する学習をしていない 1 年生にとって心電気の現象を理解することは難しかったものの、心臓の拍動調節や医学的な面での関心がみられた。心電図測定を取り入れた授業が STEM 教育として活用できるものであることが示唆された。

キーワード： 高校生物、心電図、生物電気、ICT、STEM 教育

## 1. はじめに

ICT (Information and Communication Technology) の活用は、子どもたちの学習への興味・関心を高め、子どもたちの主体的・協働的な学びの実現の上で効果的であり、確かな学力の育成に資するものである（文部科学白書，2019）。しかし、日本における ICT を活用した授業は、欧米をはじめ、シンガポールやインドに比べて遅れていると言われている<sup>1)</sup>。近年、欧米を中心に STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) 教育が推進され、ICT 機器を活用した授業は日常的に行われている中で、日本の学習指導要領に基づいた理科授業における ICT の活用は極めて少ない。

確かな学力を効果的に育成するため、これまでも ICT の積極的な活用をはじめとする指導方法・指導体制の工夫改善を通じた協働型・双方向型の授業革新の推進など、ICT の活用等による新たな学びを推進することが示されてきた<sup>2)</sup>。また、日本でも STEM 教育を推進するために、新学習指導要領ではプログラミングが導入され、小中学校における ICT 機器の導入の強化

が進み<sup>3)</sup>、2020 年度からは GIGA スクール構想はじまった<sup>4)</sup>。ICT を活用した具体的な指導について提案していくことがますます必要になっている。

STEM 教育プログラムの開発の方向として、身近な問題から課題設定をして、ICT の活用やソフトを取り入れることがあげられる。生物分野における開発としては、環境、健康、食と関連付けることが考えられる。理科実験において ICT 機器を活用するために、これまでに私たちはデータロガーや、シミュレーションソフトの活用を進めてきた<sup>5-9)</sup>。これらは、教育現場に普及してきた iPad でも利用できる。米国では iPad を活用した実験の開発が進み、例えば、サーモグラフィなどはセンサーを iPad に取り付けて専用アプリで測定できるものなど、これまでは研究機器であったものが教育用として開発されて教育現場での活用が進んでいる。

その一つとして、米国で開発された生物電気測定用の教育機器がある。生物電気は生命活動を理解する上で本質的な仕組みであり、電気的な活動は人の健康診断にも用いられる。例えば、心電図や脳波、筋電図は

\*三重大大学教育学部 †現 東員町立稲部小学校 \*\*三重県立津高等学校

今までは高等な専門機関や大学で学ぶものとされてきた。米国の Backyard Brains 社が開発した SpikerBox は、神経活動をはじめとする生物電気を測定するアンプであり、出力を iPad のイヤホン端子に接続することで、専用アプリで電気信号を記録することができる。これは教育用として開発されたもので、米国の高校やコミュニティ・カレッジにおける解剖生理学の探究活動として用いられている<sup>11, 12)</sup>。

日本の高校で活動電位など生物電気を学習するものの、測定をすることはなかったが、この機器を用いて、静岡県立沼津東高等学校の渡邊は、生物電気の測定について検討し、授業実践を行っている<sup>13)</sup>。このアンプが生物電気の実験に有用であると考え、STEM 教育にもつながる生物電気測定として、人の健康診断にも用いられる心電図に着目した。本研究では高校生物の心臓の学習で心電図測定を取り入れた授業実践を行うことで、生物電気の学習に関する教育効果について検討することを目的とした。

## 2. 研究方法

### (1) 生物電気の測定方法

生物の電氣的応答測定には、BackyardBrains 社の SpikerBox (図 1) を用いた。これは生物電気計測のアンプであり、電極からの入力を接続することで、増幅された信号を iPad の音声入力より出力する。iPad に専用アプリケーションの SpikeRecorder をインストールしておくことで、iPad で電位変化や周波数分析が表示され、記録することができる。SpikerBox は測定対象に適した数種類のアンプがあり、本研究では心電図と脳波用の Heart and Brain SpikerBox を用いた。これは差動アンプで、3つの電極をからの入力により、ノイズが少ない信号を記録できる。

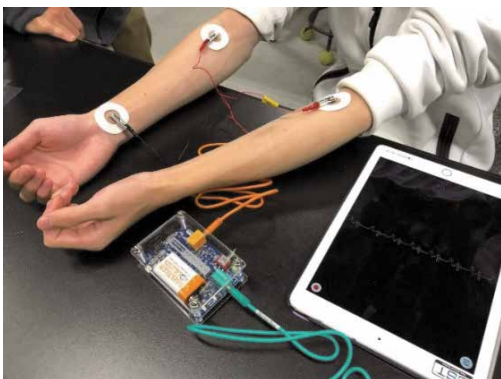


図 1. SpikerBox を用いたヒトの心電図測定方法。

### (2) ヒトの心電図

腕に 3つの電極を置く 3点誘導により測定した。電極を、マイナス電極を右前腕、プラス電極を左前腕、アース電極を右手首に取り付けるために、各部位に電極

シールを貼った (図 1)。SpikerBox に接続する入力用のクリップで電極リードをシールの突起部分に取り付け、出力を iPad の音声入力に接続した。iPad には SpikerBox 用のアプリである SpikeRecorder をインストールした。Heart and Brain SpikerBox と接続することで、自動的に心電図や脳波記録を選択できる。予備実験で、被験者として大学生 5 名の心電図を測定した。

### (3) 心電図測定を取り入れた授業案

授業構成として、1) 心臓解剖モデルを用いた構造の理解、2) 心臓拍動のアニメーションを用いた心臓の動きと血流に関する理解、3) アニメーションを用いた心臓の活動調節に関する説明、4) 心電図の説明、5) 心電図の測定、6) 心臓における刺激の伝導の確認とした。

心臓の模型としては、4D Vision (青島文化教材社) の人体解剖モデルである DX 心臓解剖モデル (図 2) を用いた。また、心臓拍動や活動調節のアニメーションは Blausen Medical の「心室頻拍」および「伝導系」(いずれも YouTube) を用いた<sup>注)</sup>。

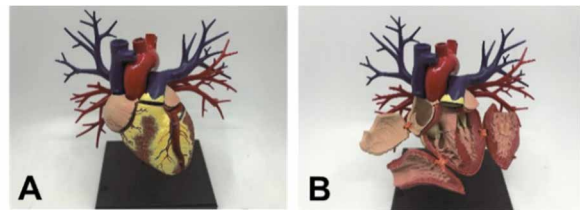


図 2. 心臓解剖モデル (青島文化教材社)。模型を閉じた状態 (A) と開いた状態 (B)。

### (4) 授業実践と生徒の記録分析

授業案の実践を三重県立 T 高等学校で 2019 年 10 月 30 日に 3 年生の生物選択の授業 1 クラス 1 限分、2019 年 11 月 13 日、15 日、20 日、21 日に 1 年生の生物基礎の授業 4 クラスで各 1 限行なった。作成したワークシートは、心臓の構造、血液の流れ、心電図の波形、刺激の伝わり方、および感想等を記録するものとした (図 3)。生徒の自由記述を分析するために、KH Coder を用いて頻出語や、特定の語との結びつきを知るために共起ネットワークを調べた。

## 3. 結果

(1) ヒトの心電図 周囲に電子機器や蛍光灯があるとノイズが入るため、測定機材の付近には SpikerBox と接続する iPad 以外の電子機器は配置しないようにした。予備実験として、被験者が椅子に座り、机の上で腕の内側が見えるように固定した。その後、固定した腕に電極シールをつけ、SpikerBox とつないで心電図を

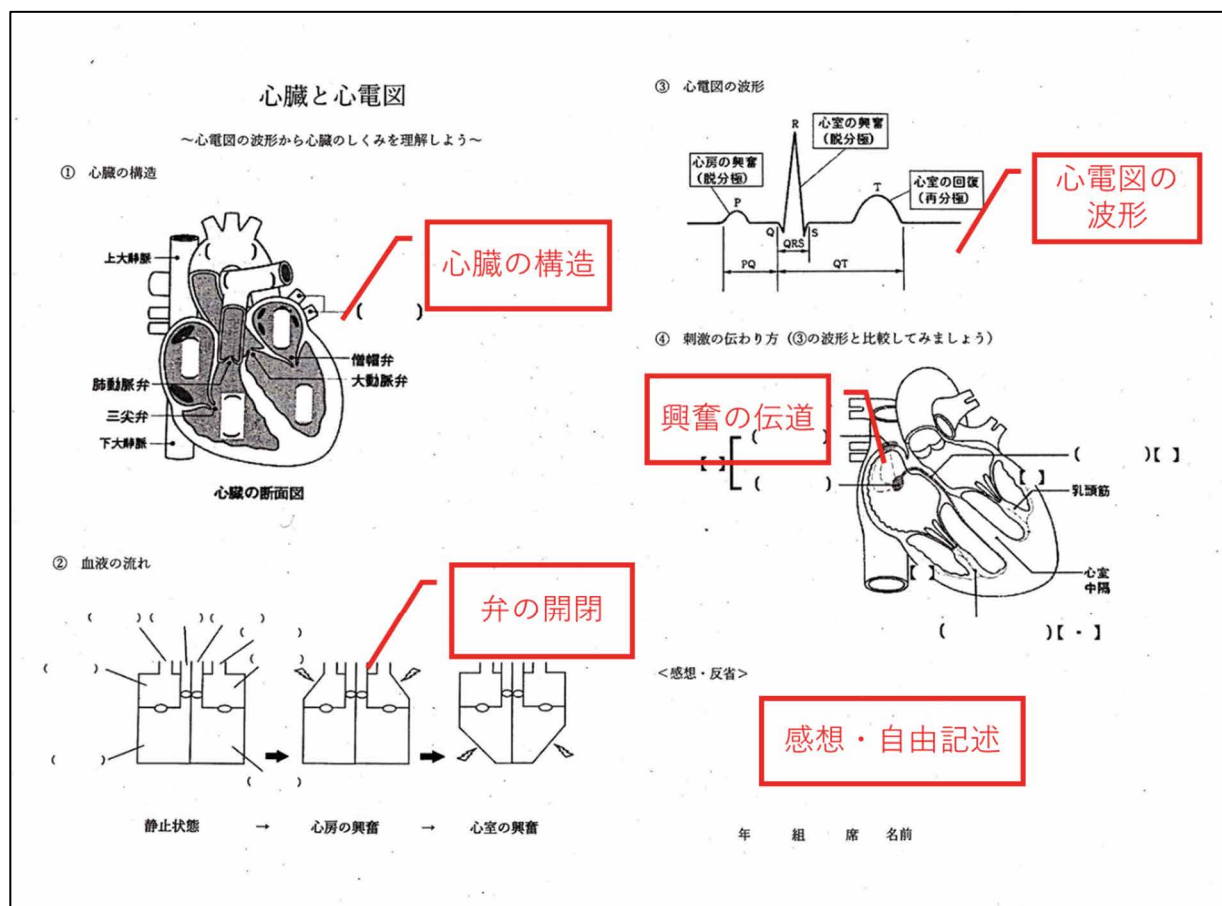


図3. 授業で用いたワークシート。ワークシートの構成を赤字で示してある。

測定することができた。PQRST波は明瞭であり、安定した心電図を記録することができた。しかし、波形には個人差があり、典型的な波形として記録できる場合(図4A)もあったが、QRSの波形は個人差が大きかった(図4B)。P波やT波の大きさについても個人差が大きかった。

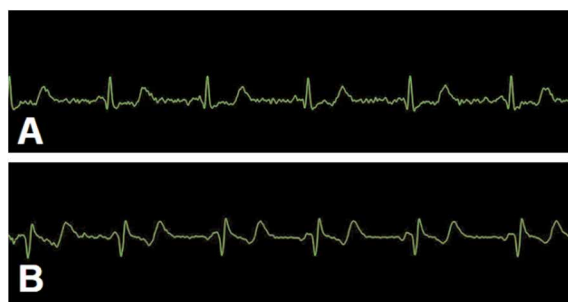


図4. SpikerBoxで測定したヒトの心電図波形  
(AとBでは被験者が異なる)。

## (2) 心電図測定を取り入れた授業実践

生徒は心臓の模型を見ながら心筋の厚さや4つの部屋や弁の様子を確認していた。4人につき1個の模型を用意したことから、見て触わることで興味が沸いたようであった(図5)。その後、授業者が模型や資料集

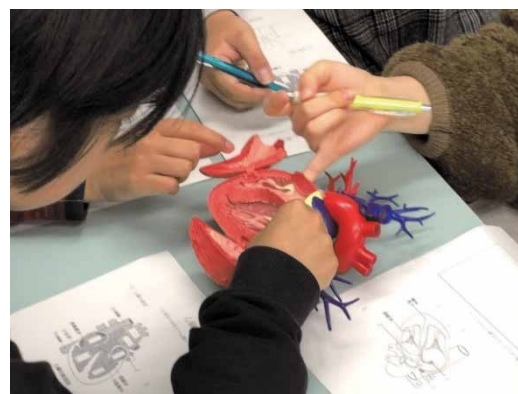


図5. 心臓の解剖模型を観察している様子。

をモニターで映して部位の名称、血液の流れる向き、血管の名前を全体で確認し、ワークシートの図に記入した。心臓内の血液の流れや弁の開閉について考え、ワークシートに記入した。心臓拍動について最初は個人で考え、班で相談した後に全体で共有した。次に心臓の活動調節についてアニメーションを用いて行い、心電図の概要を学んだ後、授業者の心電図をモニターに映し出し観察した(図6)。iPadの画面ではノイズがなかったが、ケーブルを通じてモニターに映したところ、大きなノイズが入り、波形を読み取ることが困難

であった。これは液晶プロジェクターを最新ものに変更するか、ノイズシールドのある HDMI ケーブルを用いることで軽減することができた (図7)。

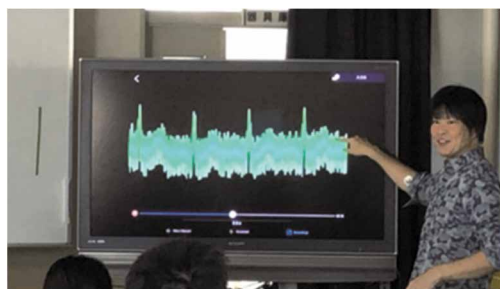


図 6. 心電図記録の演示.

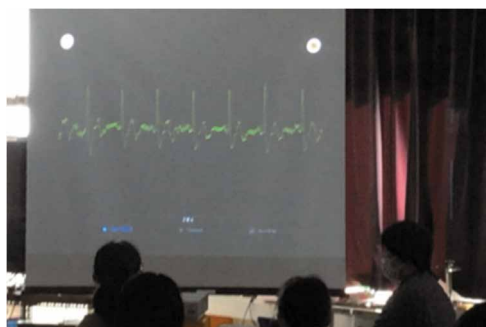


図 7. ノイズを除去した電図記録.

高校1年生の生物基礎の授業では、生徒は心臓の構造、循環、児童性を学習した直後であったことから、「模型で心臓の各部を確認する」という課題に対して、授業を振り返りながら取り組んでいた。ワークシートの自由記述では、本物に触れたことに関する記述が31%、心電図の記述が10%、電気信号に関する記述は5%であった (表1)。

表 1. 自由記述からの抽出した語句.

抽出語	高校3年生 (40名)	高校1年生 (120名)
心臓	41 (100%)	156 (100%)
実際	14 (35%)	25 (20.8%)
心電図	13 (32.5%)	13 (10.8%)
模型	7 (17.5%)	24 (20%)
本物	4 (10%)	13 (10.8%)
刺激	3 (7.5%)	6 (5%)
活動電位	3 (7.5%)	0 (0%)
動画	2 (5%)	3 (2.5%)

高校3年生の理系生物の授業では、生徒は基礎生物ですでに心臓について学習しており、生物でも神経系における興奮の伝導について学習済みであった。受験が近づいているため、復習として心臓の模型や心臓の拍動の動画を見ることで関心がみられた。心電図の測定でも、波形の意味することを理解できている様子であった。心臓のイラストを描き、心電図の波形と関連付けて心臓の動きを確認する様子もみられた。ワークシートの自由記述では、本物に触れたことに関する記

述が45%、心電図の記述が32.5%、電気信号について記述が15%であった (表1)。

アンケート数が少なく信頼できる共起関係を得ることはできなかった。具体的な記述の例としては以下のようなものがあった。

- ・解剖モデルによる心臓のイメージが分かった。
- ・実際に触ってみたり、模型を見たりして心臓の構造が良くわかり、疑問や考えが深まって楽しかった。
- ・動かない絵を見て学習した時よりも、動画で見たことにより心臓の動きが分かりやすく理解できた。
- ・心臓が電気活動によって動いているということを今まであまり意識したことが無かったので、この実験を通して心臓の動きと活動電位の変化を結び付けて考えることができてよかった。
- ・心電図の各部分の特徴と状態や刺激の伝わり方が良く分かった。
- ・実際に測定することで波形の意味することが理解できた。
- ・脱分極で電位が上がって再分極で電位が下がるのだと思っていた。

## 4. 考察

### (1) SpikerBox の利用

ICTの普及に伴い、理科教育でも簡便で現象をとらえやすい実験や実習を取り入れることが容易になってきた。ICTを活用した実験により、生徒が関心をもち理解でき、実験結果について考えて疑問をもち、さらに疑問を解決するための実験を考えることにつながることで授業時間内でできる。例えば教育用データロガーは20年以上以前から欧米では活用されており、私たちも活用事例を報告してきた<sup>5-9)</sup>。これらはSTEM教育を進める上でも有益なツールとなる。

高校生物の神経生物学の分野でも、ICT機器を活用した実験の開発と授業実践が静岡県立沼津東高校の渡邊が報告した<sup>12)</sup>。生物電気は生命活動を理解する上で本質的な仕組みであるが、これまでは高校の授業で測定することは難しかった。渡邊が用いた SpikerBox というアンプは、その出力を iPad に接続することで神経活動を記録することができる簡便なものであり、データロガーに比べて安価でアプリの機能も充実していることから、高校で生物電気の計測を導入した新しい授業づくりが考えられる。米国では高校の探究活動として紹介されているが<sup>14)</sup>、日本の高校での活用は、私たちの知る限り渡邊によるものだけである。日本では SpikerBox の入手が困難な状況であることが普及に繋がっていないが、ICT機器の活用をする上で、教育関係者のニーズが高まることが期待される。



## （２）生物電気の学習としての心電図測定

生物電気は、医療の中でも利用され、特に心電図は心臓機能の診断に用いられることから最も身近に感じる電氣的応答である。心電図の測定による波形の理解は、心臓における刺激伝導系の学習という基礎から、私たちの健康に関する応用にもつながるため、STEM教育としても取り入れることができる。実際に、米国では高校3年対象のSTEMカリキュラムとして紹介もされている<sup>15)</sup>。

日本の高校生物では心電図測定を取り入れた授業実践の報告はないが、高校の生物基礎における「ヒトの体の調節」に関する実験としても適合する。この単元では、心臓、肝臓、腎臓を中心に学習する。心臓の拍動については、心臓拍動の自律性と、自律神経による拍動調節が主な学習内容であり、心臓における刺激伝導系の扱いはない。心電図の記載は教科書にはなく、資料集で学ぶに過ぎない。生物電気については、高校生物の「生物の環境応答」における刺激の受容と反応で活動電位について学ぶことから、生物基礎を学習する段階では電氣的現象の理解は難しいかもしれない。しかし、心臓拍動調節は刺激伝導系を心電図とともに学習することが不可欠であり、医療における心電図の理解として、授業では発展的内容として取り扱うべき内容である。

筆者の一人である後藤は、2014年にニュージーランドの高校（St Cuthbert's College）を訪問した際に心臓の拍動に関する授業を参観した。教師はスマホを用いた脈拍測定と、教育用データロガーを用いた心電図測定を行い、拍動調節の仕組みを詳細に解説していた。実際に測定することで生徒が興味をもって学ぶことのできる心臓の解剖と生理に関する先進的な授業であり、このような授業づくりが容易になることを期待していた。SpikerBoxを導入することで、心電図測定を導入した授業づくりが身近なものになると言える。

## （３）心臓の学習指導案と生徒の学び

授業では、心臓の立体模型による構造の理解、映像教材による心収縮や刺激伝導系の学習、そして心電図の測定を通じて、心電図と拍動調節を理解することを目的とした。生物基礎における心臓の学習は、教科書中心であり、観察としてはニワトリやブタの心臓を見せることが一般的である。しかし、実物を観察してもわかりにくいことが多い。立体模型を観察した後に実物をみることで、理解が深まる。今回の授業実践で、生徒は心臓の立体模型を熱心に観察しており、また、模型で見た知識をもとに実物を観察していた。心臓の学習の中で立体模型の意義は大きく、CGによる3Dの画像でも得られない利点がある。

心電図測定を取り入れた心臓の活動調節の学習は、無機的な波形と生々しい心臓を比較することにより、物理や化学や数学が生物を支えているということにも関心が生まれ、さらに心電図を応用すると、横軸の長さや、縦軸の変化など、心臓に生じる変化がそのまま波形に表れることにより、心臓の状態、変化、異常が確認できるという医学的な側面も認識できる。このことは、心電図測定を取り入れた授業がSTEM教育そのものであることを意味する。

心電図測定は、大人にとって心電図は毎年の健康診断で必須であり、なじみ深い、高校生にとってはあまり見ることはないものである。しかし、心電図というものがあり、それで心臓の状態を確認することができることは知っていた。見慣れない装置を見せ、授業者が「私の心電図を（心臓の状態を）今から見せる」と話すと、生徒の興味深そうに期待している様子が見られた。1年生にとって、心臓の動きによってなぜこのような電氣的な波形が現れるか理解することは極めて難しかった。しかし、生徒はプリントの図を用いながら、ペースメーカーからどのように刺激が伝導するのかを、資料集をみながら班で相談しながら考えていた。

3年生の理系生物クラスでは、活動電位を学習済みであり、復習しながら心電図と比較することで、より興味深く正確に心電図をとらえようとしていた。活動電位の知識だけから心電図を理解することは難しく、この点は誤解のないように指導することが必要となる。受験を控え、看護・医療方面を希望している生徒から非常に興味深かったという感想があり、モチベーションになったようだ。

授業前に、「実験室で心電図を見よう」というテーマを示したが、連絡した時から楽しみにしていた生徒もいたようだ。「動き続ける心電図を用いることにより、紙の上の図が、今まさに活動し、我々の体の各部に酸素を送っているもっとも重要な臓器であることとして認識できた」という感想もあった。生物基礎の動物生理関係では、心臓、肝臓、腎臓の3つの器官を扱うが、心臓について興味を示すことで、その他の器官についてもいろいろな側面から考えるようになることが期待される。

## （４）心電図測定を取り入れる活動の課題

心電図測定の被験者としては、授業者および実習助手とした。心電図は個人情報でもあるため、生徒を被験者とすることは本人や保護者の了解を得る必要がある。そのため、演示実験になった。グループで心電図測定を行うことで、生徒は心電図に関心をもち、波形の意味することを深く考え疑問ももつことが予想される。心電図測定を探究活動としてどのように取り入れ

るか、私たちの健康と結びつけるためにグループでの測定を行う場合は、計画的な実施をしなければならない。

## 注

Blaugen Medical のウェブサイトは現在有料となっており、YouTube で検索しても見ることができない。他に適当なものとして「心臓伝導システムと心電図の理解」<https://www.youtube.com/watch?v=RYZ4daFwMa8> がある。

## 参考文献

- 1) 豊福晋平 (2015) 「日本の学校教育情報化はなぜ停滞するのか ―学習者中心 ICT 活用への転換―」情報処理 Vol. 56 No. 4 pp316-321
- 2) 文部科学省 (2013) 第 2 期教育振興基本計画
- 3) 文部科学省 (2017) 学校における ICT 環境の整備について (教育の ICT 化に向けた環境整備 5 年計画 (2018 (平成 30) ~2022 年度))
- 4) GIGA スクール構想の実現 ([https://www.mext.go.jp/a\\_menu/other/index\\_00001.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/other/index_00001.htm)) (参照 2021-10-1)
- 5) 平山大輔・尾上修一・後藤太一郎 (2014) 「植物の蒸散の実験におけるデータロガーの活用」三重大大学教育学部附属教育実践総合センター紀要, Vol. 34, pp19-23
- 6) 平山大輔・森川英美・後藤太一郎 (2014) 「光合成の授業における ICT の活用とその有効性―小学校理科 6 年小単元「生物と空気のかかわり」に注目して―」理科教育学研究, Vol. 54, No. 3, pp419-426
- 7) 尾上修一・平山大輔・後藤太一郎 (2015) 「データロガーを活用した理科教材開発とマニュアルの作成」三重大大学教育学部附属教育実践総合センター紀要, Vol. 35, pp. 119-123
- 8) 國仲 寛人・荻原 彰・後藤太一郎 (2018) 「小中学校の理科の授業におけるシミュレーション教材 PhET の活用」三重大大学教育学部研究紀要, Vol. 69, p. 313-318
- 9) 國仲寛人・後藤太一郎・大多和拓真 (2022) 「タブレットでやってみよう! 理科のシミュレーション実験」大日本図書. 22pp.
- 10) 北澤武・鈴木庸佑・福本徹 (2019) 一人一台タブレット端末による対話を重視した授業デザインの効果 ―アクティブ・ラーニングと小中学生の公的自己意識に着目して―. AI 時代の教育論文誌, Vol. 1, pp. 13-18.
- 11) Marzullo, T.C., Gage, G.J. (2012) The SpikerBox: A low cost, open-source BioAmplifier for increasing public participation in neuroscience inquiry. PLOS One 7(3): e30837. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030837>
- 12) Judge J.L., Cazares, V.A., Thompson, Z., Skidmore, L.A. (2020) Development of low-cost cardiac and skeletal muscle laboratory activities to teach physiology concepts and the scientific method. Adv Physiol Educ. 44(2): 181-187. doi: 10.1152/advan.00149.2019
- 13) 渡邊伸一・神崎亮平・並木重宏 (2019) 高校でできる簡単な神経生物学実験の検討 日本生物教育学会第 103 回全国大会研究発表要旨 p. 85
- 14) Backyard Brains High School Student Personal Projects. <https://blog.backyardbrains.com/2018/11/backyard-brains-high-school-student-personal-projects/> (参照 2021-10-1)
- 15) Teach Engineering : Electrocardiograph Building [https://www.teachengineering.org/activities/view/uva\\_pump\\_bme0607\\_act](https://www.teachengineering.org/activities/view/uva_pump_bme0607_act) (参照 2021-10-1)