

オープンソース生物教材の開発へ向けた全国アンケート調査

藏田 耕作

九州大学大学院工学研究院機械工学部門

連絡先

〒819-0395 福岡市西区元岡 744

e-mail: kurata@mech.kyushu-u.ac.jp

「自分で部品から作り出して組み立てられ、設計や製作に関する電子データがすべて無償公開され、その電子データを自由に改変できる」という新しい考え方のオープンソース生物教育教材（バイオウェア）の開発を試みています。2018年夏、そのニーズを調査することを目的とし、高校教諭を対象とした郵送アンケート調査を実施しました。

どのようなバイオウェアを開発すれば喜ばれるのかという手がかりを得るためのアンケート調査でしたが、調査の結果を何らかの形で公表すべきだと思っていました。そこで論文の形にまとめて国内誌に投稿したのですが、結果は「修正・再投稿の上、再査読」。2名の査読者から、先行研究の調査不足、目的のあいまいさ、アンケート調査・分析方法に関する不備など、非常に多くのコメントをいただきました。ほとんどリジェクトに近いお返事なのだろうと思います。

査読者からのコメントは納得できる点もありましたが、反論したい部分もありました。しかし、アンケート結果の公表が論文投稿の目的でしたし、機械工学に身を置く私が教育関係の国内誌に論文掲載してもらうために多くのエネルギーを費やすのも本末転倒ですので、今回、アンケート調査の結果をまとめた次ページ以降の文章をウェブ公開することにいたしました。査読者のコメントを添付することはできませんが、調査・分析方法に関する不備を含んでいるのだろうと思いますし、統計的有意差を算出して議論した文章でもありません。これらのことを踏まえた上で、ご参考にしていただけましたら幸いです。

Abstract

The aim of this study was to survey needs of teaching materials for biology to develop new hardware for biological education that can be assembled by students themselves, published free of charge on the internet, and freely modified. A mail questionnaire was sent to 2,000 high schools selected from a list of high schools in Japan (4,985 schools). The questions included the frequency of observation and experiment in a class, the type of teaching materials that teachers are using and want to use, and ideas of teaching materials that teachers give up making due to technical problems. We received 795 responses from 10 national schools (1.3%), 539 public schools (67.8%), 242 private schools (30.4%), and 4 unanswered schools (0.5%). Morphological analysis and text mining technique showed that more than half of the teachers performed observations and experiments on “Cells and molecules”, “Metabolism”, “Expression of genetic information”, “Development of animals”, and “Reaction and behavior of animals”. The teaching materials on “Expression of genetic information” showed the highest needs, and were desired by approximately 40% of teachers. Even in other teaching fields, some sort of materials were requested by 20% of teachers. Based on these information, open-source educational materials that can be easily produced by digital fabrication tools such as 3D printers and laser cutters will be planned.

Key Words: biological education, educational material, open-source, questionnaire survey, text mining

Author for correspondence: Kosaku KURATA, Kyushu University, Department of Mechanical Engineering, 744 Motooka, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395 Japan.

I はじめに

生物実験を行うための機器やキットは従来から多くの教諭によって独自に開発や工夫が重ねられており、一部は企業から販売されている。これらの教材や教具にはあらかじめ必要なものが全て備わっており、さらに手順書があつて間違える余地が残されていない。しかし、イノベーションマインドを育むには、実際の問題を自力で創造的に解決しようとするアプローチを体験させることが不可欠である。そこで単なる生物実験の機器やキットではなく、次の3つの特徴を備えた新しい考え方のバイオ教育ハードウェア（以下、バイオウェア）の開発を試みている（OPEN-SOURCE BIOWARE PROJECT, アクセス2019.1.23）。

第一の特徴は、このバイオウェアは自分で部品から作り出して組み立てられることである。パーソナル3Dプリンターとレーザーカッターの価格が下がり、これらをレンタルして自由に使えるFabLab（市民工房）の設置が全国で進んでいる（FabLab Japan Network アクセス2019.1.23）。このようなデジタルファブリケーションツールを用いて生徒自身が教材や教具を製作すれば、原理を深く理解できるだけでなく、自分で工夫したり変更したりする余地が生まれる。第二に、このバイオウェアに関する情報はすべて無償公開される。設計図や組立図はもとより、3Dプリンターやレーザーカッターで製作するための電子データなどはすべてウェブ上に保管され、これらを誰でも閲覧したりダウンロードしたりして試すことができる。これは、インターネットにアクセスできれば

世界中どこにいても材料原価だけで安価に、好きな数だけ教材を製作できることを意味する。第三の特徴は、無償公開されている電子データを自由に改変できることである。利用者が電子データを自由に編集して大きさや形を変えたり機能を付加したりすることを許せば、多くの人の手を経ることによって自律的に優れた教材や教具に進化する。

そこで本研究では、開発するバイオウェアの種類を検討するための基礎データを得ることを目的とし、全国の高等学校で生物教育に携わる教諭を対象として選択式および記述式の郵送アンケート調査を実施した。その回答をテキストマイニングの手法を用いて解析し、頻出語や特徴語を抽出してそれらの出現頻度や共出現の相関を求めた。そして、生物科目の教育課程において現在どのような教材や教具が用いられ、また求められているのかについて考察した。

II 方法

1. 調査対象

生物教育に携わる高校教諭に対して教材や教具の利用状況やニーズに関する郵送アンケート調査を行った。まず、入手できた全国高等学校リスト（4,985校）からスーパーサイエンスハイスクールの指定を受けたことのある高校207校を優先的に選出した。次に、残った高校の中から普通科を設置する国立高校10校を選んだ。また、福岡県下の全日制普通科を有する高校119校を選んだ。最後に、リストに残った高校4,649校から全日制普通科を

有する高校3,345校を抽出して郵便番号の昇順に並べた。そして、Microsoft Excel のランダム関数を用いて0以上、1未満の実数の乱数を付与し、値の大きな高校から順に1,664校を選んだ。調査対象となった高校は合計2,000校で、その種別は国立17校(0.85%)、公立1,311校(65.6%)、私立672校(33.6%)であった。このように選んだ高校において生物科目を担当している教諭に宛てて、2018年8月上旬にアンケート用紙を郵送した。

2. 調査項目

アンケートの調査項目（表1）は、「Q1. 授業で観察や

実験を行っている頻度（選択式）」「Q2. 授業中に観察や実験を行うにあたり障害になっていること（選択式、記述式）」「Q3. 観察や実験に使っている教材の種類（選択式）」「Q4. どのような学習分野で観察や実験を行っているか（選択式、記述式）」「Q5. どのような学習分野の教材があれば使ってみたいか（選択式、記述式）」「Q6. 自分で設計図をダウンロードして製作できる教材がウェブサイトに掲載されたら利用したいか（選択式）」「Q7. 技術的

表1 郵送アンケートの質問項目と選択肢

Q1 先生の生物授業では、1学級当たりどの程度、観察や実験を行っていますか？ いずれか1つをチェック✓してください。 ○ほぼ毎時間 ○週1~2回 ○月1~3回 ○数か月に1~2回 ○年に数回以下			
Q2 先生が授業中に観察や実験を行うにあたり、障害となっていることは何ですか？ 当てはまるものすべてをチェック✓してください。 □設備・備品の不足 □消耗品の不足 □授業時間の不足 □準備・片付け時間の不足 □生徒数が多すぎる □生徒の授業態度の問題 □実験室の不足 □その他（ ）			
Q3 先生は観察や実験を行う際に、どのような教材を使っていますか？ 当てはまるものすべてをチェック✓してください。 □市販品をそのまま □市販品を改造 □オリジナルを自作			
Q4 どのような学習分野で観察や実験を行っていますか？ また、具体的にどのような教材をお使いですか？			
学習内容	Q4 観察や実験を行っている	Q4-1 具体的にどのような教材をお使いですか？	
(1) 生命現象と物質	当てはまるものにチェック	自由に記述	
ア 細胞と分子	<input type="checkbox"/>	()	
イ 代謝	<input type="checkbox"/>	()	
ウ 遺伝情報の発現	<input type="checkbox"/>	()	
エ (1)に関する探究活動	<input type="checkbox"/>	()	
(2) 生殖と発生	当てはまるものにチェック	自由に記述	
ア 有性生殖	<input type="checkbox"/>	()	
イ 動物の発生	<input type="checkbox"/>	()	
ウ 植物の発生	<input type="checkbox"/>	()	
エ (2)に関する探究活動	<input type="checkbox"/>	()	
(3) 生物の環境応答	当てはまるものにチェック	自由に記述	
ア 動物の反応と行動	<input type="checkbox"/>	()	
イ 植物の環境応答	<input type="checkbox"/>	()	
ウ (3)に関する探究活動	<input type="checkbox"/>	()	
(4) 生態と環境	当てはまるものにチェック	自由に記述	
ア 個体群と生物群集	<input type="checkbox"/>	()	
イ 生態系	<input type="checkbox"/>	()	
ウ (4)に関する探究活動	<input type="checkbox"/>	()	
(5) 生物の進化と系統	当てはまるものにチェック	自由に記述	
ア 生物の進化の仕組み	<input type="checkbox"/>	()	
イ 生物の系統	<input type="checkbox"/>	()	
ウ (5)に関する探究活動	<input type="checkbox"/>	()	
Q5 どのような学習分野の教材があれば使ってみたいですか？ また、どのような教材があればいいと思いますか？			
学習内容	Q5 教材があれば使ってみたい	Q5-1 どのような教材があればいいと思いますか？	
以下、Q4と同じ。			
Q6 生徒や教員が自分で設計図をダウンロードして製作できる教材（無償）がウェブサイトに掲載されたら、利用したいと思いますか？ いずれか1つをチェック✓してください。 ○積極的に利用したい ○ある程度利用したい ○ほとんど利用したくない ○全く利用したくない			
Q7 先生がご自身で製作したいと考えているけれども、技術的な問題から製作を諦めている教材のアイデアはありますか？ いずれか1つをチェック✓してください。 ○ある ○ない			
Q7-1 それはどのような教材ですか？ 差し障りがなければ教えて下さい。 ご一緒に製作ができるかもしれません。 ご希望の場合は、回答用紙の最後の欄に連絡先をご記入下さい。 ()			
Q8 先生について教えてください。調査結果を公表する場合には統計的な数字となります。 どの高校の先生がどのように回答したかは絶対に分かりません。 高校の所在都道府県 () 高校の種別 (国立 公立 私立) 教職経験 (5年未満 5年以上~10年未満 10年以上~20年未満 20年以上~30年未満 30年以上)			

な問題から製作を諦めている教材のアイデアはあるか (選択式, 記述式)」「Q8. 高校の所在地, 種別, 教職経験年数 (選択式)」であった。

3. 解析方法

選択式アンケートについては, 選択肢ごとの回答数を集計して比較した。一方, 記述式アンケートの回答内容については, 計量テキスト分析ソフトウェア KH Coder (樋口 2014) を用いてテキストマイニングの手法によって解析した。まず, 自由記述された文章を前処理して形態素に分割し, 助詞や助動詞を除いた単語の出現頻度を集計した。次に, 文章の中で出現パターンが類似する単語を線で結んだ共起ネットワークを作成し, 共起関係を有する語のまとまりとして表した。さらに, 対応分析 (コレスポネンシ分析) を行い, 頻出する単語同士の関係性を散布図として可視化し, それぞれの学習分野で行われている観察や実験, 求められている教材について考察した。

III 結果

全国 2,000 校の高校において生物科目を担当している教諭を対象にアンケート調査を実施した結果, 795 件の回答 (回答率 39.8%) を得た。高校種別, 教職経験年数別に回答数をまとめた結果を図 1(a), (b)に示す。高校種別で集計すると, 国立 10 校 (1.3%), 公立 539 校 (67.8%), 私立 242 校 (30.4%), 無回答 4 校 (0.5%) から回答があった。送付数に対する回答率は, 国立 58.8%, 公立 41.1%, 私立 36.0%であった。また, 教職経験年数別では, ~5 年: 89 人 (11.2%), 5~10 年: 159 人 (20.0%), 10~20 年: 204 人 (25.7%), 20~30 年: 171 人 (21.5%), 30 年~: 165 人 (20.8%) の回答を得た。

「Q1. 授業で観察や実験を行っている頻度」に関する回答の集計結果を図 2(a), (b)に示す。全体の 1.8%の高校では週に 1 回以上の観察や実験を行っていたが, 約 80%の高校では数か月に 1~2 回以下の実施であった。高校種別で集計すると, 国立, 公立, 私立の順に実施頻度の低下が認められた (図 2(a))。また, 教職経験年数が増すと, 観察や実験の実施頻度が増加する傾向があった (図 2(b))。

「Q2. 授業中に観察や実験を行うにあたり障害になっていること」についての集計結果を図 3 に示す。半数以上の高校が授業時間や準備・片付け時間の不足を訴えていた。また, 設備・備品や消耗品の不足も障害として挙げられていた。108 校 (13.7%) の高校は選択肢「その他」を選んで自由記述がなされていたので, テキストマイニングの手法を用いて記述内容を解析した。まず, 形態素解析によって抽出された総抽出語数は 1,690 語, 異なり語数 (何種類の語が含まれていたかを示す数) は 418 語であり, そのうち助詞や助動詞などを除いた解析対象となる総抽出語数は 828 語, 異なり語数は 312 語であった。これらの頻出語の上位 30 語と出現頻度を表 2 に示す。

藏田耕作 (九州大学)

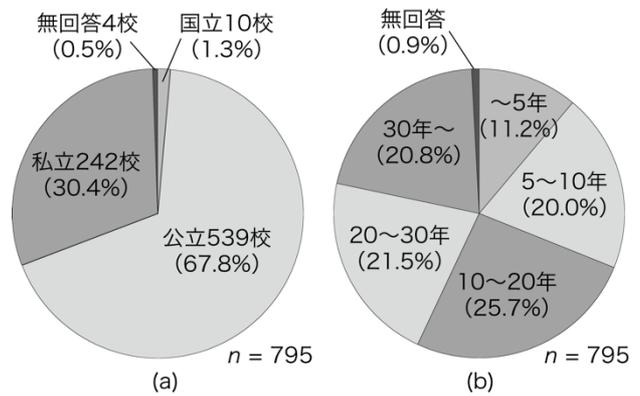


図 1 アンケート回答者の属性。(a) 高校種別, (b) 教職経験年数別。

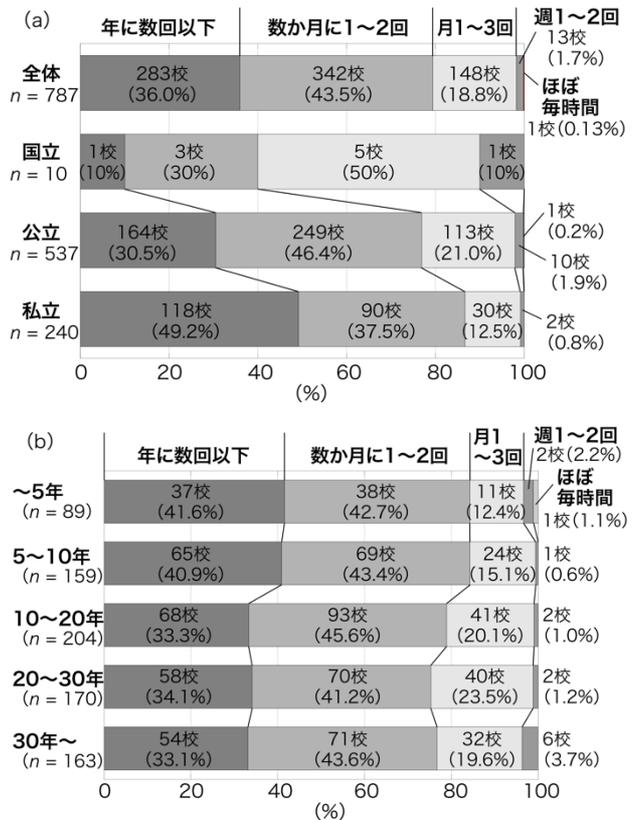


図 2 「Q1. 授業で観察や実験を行っている頻度」の集計結果。(a) 高校種別, (b) 教職経験年数別。

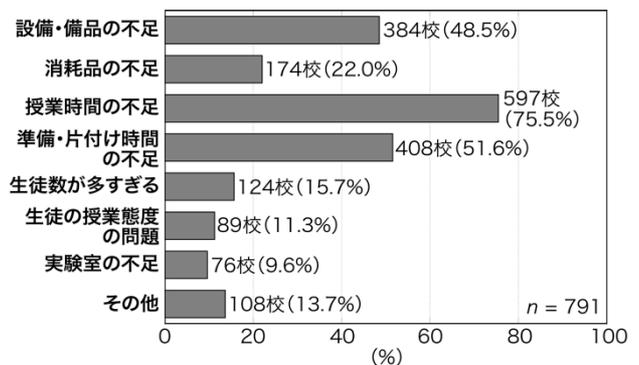


図 3 「Q2. 授業中に観察や実験を行うにあたり障害になっていること」の集計結果

表2 「Q2. 授業中に観察や実験を行うにあたり障害になっていること」に関する自由記述における頻出語と出現頻度

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
実験	60	助手	10	経験	6
不足	22	エアコン	9	実施	6
生物	21	生徒	9	終わる	6
内容	17	専門	9	準備	6
実習	15	難しい	9	進捗	6
多い	15	予算	9	行う	5
教員	14	観察	7	材料	5
授業	13	担当	7	指導	5
時間	12	学習	6	少ない	5
教科書	10	教材	6	多忙	5

「実験」(60回)、「不足」(22回)、「生物」(21回)、「内容」(17回)などの単語が頻出していることが確認されたので、次にこれらの単語がどのような文脈で出現しているのかを共起ネットワークを作成して可視化した。その際、出現頻度3回以上の単語49個を対象とし、集合間の類似性を表す Jaccard 係数の大きいものから 60 位までの共起関係を選択した。図4に得られた共起ネットワークを示す。出現数が多い単語ほどバブルが大きく、共起の程度が強いほど濃い線で結ばれている。また、この図に描画されているのは単語49個のうち44個 (node)、共起関係を示す線400本のうち63本 (edge) であり、その密度は0.067であった。共起ネットワークには6個のグループが認められた。特徴的な1つ目のグループは「教員」「専門」「知識」「経験」「予算」などの単語の集合が見られ、これが「不足」という単語とつながっていた。教員の専門と担当科目とが違って、観察や実験を行うにあたり知識、経験、能力の不足が障害となっていること、さらに予算不足が問題であることを示唆していた。2つ目は「内容」「教科書」「観察」「学習」などの単語からなる集

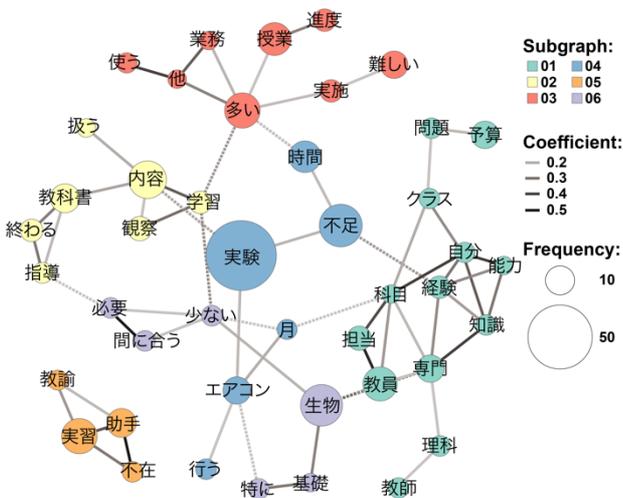


図4 「Q2. 授業中に観察や実験を行うにあたり障害になっていること」に関する自由記述に現れた単語の共起ネットワーク

合で、教科書の内容に沿う実験や観察には実施が難しいものが多いことが挙げられていた。3つ目は「授業」「進捗」「多い」「業務」などの単語からなり、授業進捗の問題や他の業務による忙しさが観察や実験を妨げていることを示していた。4つ目は「エアコン」「時間」「不足」などの単語の集合で、実験室にエアコンがないために夏場に実験の授業ができないこと、実験や準備の時間不足が挙げられた。5つ目は「実習」「助手」「不在」「教諭」からなる集合で、実習助手や実習教諭がいないために観察や実験が行えないことを示唆していた。6つ目は「生物」「少ない」「間に合う」などからなる集合で、観察や実験に必要な生物を採集する機会の減少、材料調達の難しさが挙げられていた。

「Q3. 観察や実験に使っている教材の種類」に関する集計結果を図5に示す。市販品をそのまま使ったり改造して使ったりしている他、6割以上の教諭が何らかの学習でオリジナル教材を自作していることが明らかになった。

「Q4. どのような学習分野で観察や実験を行っているか」について、集計結果を図6に示す。半数以上の教員が「細胞と分子」「代謝」「遺伝情報の発現」「動物の発生」「動物の反応と行動」の分野で観察あるいは実験を行っていたが、それ以外の分野では実施が20%に満たなかった。具体的にどのような教材を使っているのか調べるために、自由記述による回答内容に対して形態素解析を行

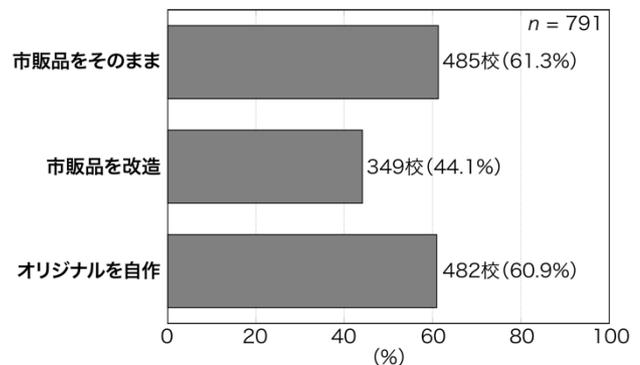


図5 「Q3. 観察や実験に使っている教材の種類」の集計結果

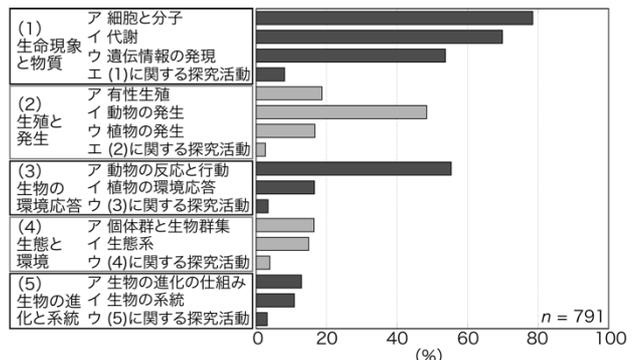


図6 「Q4. どのような学習分野で観察や実験を行っているか」の集計結果

表3 「Q4. どのような学習分野で観察や実験を行っているか」に関する自由記述における頻出語と出現頻度

(1) 生命現象と物質		(2) 生殖と発生		(3) 生物の環境応答		(4) 生態と環境		(5) 生物の進化と系統	
抽出語	出現数	抽出語	出現数	抽出語	出現数	抽出語	出現数	抽出語	出現数
観察	298	ウニ	275	ブタ	156	観察	69	観察	30
DNA	192	発生	194	解剖	117	調査	31	標本	21
細胞	173	観察	160	盲斑	96	生物	28	解剖	19
抽出	164	カエル	62	観察	95	土壌	24	化石	18
カタラーゼ	159	受精	54	眼	92	標識再捕法	19	作成	15
実験	152	胚	46	ニワトリ	75	野外	18	手羽	14
顕微鏡	136	卵	43	眼球	65	植生	14	系統樹	13
アルコール発酵	129	花粉管	42	脳	59	実験	12	骨格	13
オオカナダモ	122	プレパラート	41	実験	51	校内	11	生物	10
タマネギ	122	減数分裂	35	頭	35	植物	11	ニワトリ	9
酵素	111	市販	32	測定	22	動物	11	分子	9
酵母	101	種子	23	確認	21	ツルグレン	10	進化	8
光合成色素	92	伸長	22	水煮	21	教材	9	分類	8
だ腺染色体	75	バフンウニ	21	反射	19	個体	9	頭骨	7
レバー	73	模型	18	植物	18	層別刈取	9	ビデオ	6
マイクロメータ	66	ムラサキツユクサ	17	オーキシン	16	ウキクサ	8	遺伝的浮動	6
ブロッコリー	65	花粉	17	オジギソウ	16	校庭	8	花	6
分離	65	顕微鏡	15	検出	16	装置	8	教材	6
ペーパークロマトグラフィー	57	標本	14	発芽	16	樹木	7	アンモナイト	5
用いる	57	初期	13	腎臓	15	コドラート	6	コアセルベート	5
脱水素酵素	56	ニワトリ	12	反応	15	学校	6	遺伝子頻度	5
分裂	54	永久	12	学習	14	構造	6	光合成色素	5
発酵	52	教材	12	行動	14	自作	6	植物	5
ユスリカ	51	精子	12	走性	13	法	6	用いる	5
アカムシ	41	分裂	11	味覚	13	フィールドワーク	5	NHK	4
ツンベルク管	40	固定	10	迷路	13	モデル	5	イカ	4
遺伝子	38	ビデオ	9	カイコガ	12	区画	5	系統	4
イシクラゲ	35	花	8	ヒト	12	効果	5	三葉虫	4
キューネ発酵管	35	過程	8	神経	12	採集	5	視聴	4
原形質分離	35	実験	8	速度	12	密度	5	自作	4
抽出語数	5,356		1,863		2,161		816		592
異なり語数	737		343		528		315		269

った。総抽出語数は20,596語、異なり語数は1,780語であり、そのうち助詞や助動詞などを除いた解析対象となる総抽出語数は10,814語、異なり語数は1,558語であった。各分野ごとに上位30語の頻出語と出現頻度を表3にまとめた。「(1)生命現象と物質」の分野については、他の分野よりも自由記述による回答が多く、抽出された単語数が突出していた。「DNA」「細胞」「カタラーゼ」「顕微鏡」「アルコール発酵」「オオカナダモ」「タマネギ」「酵素」「酵母」「光合成色素」「だ腺染色体」「レバー」「マイクロメータ」「ブロッコリー」「ペーパークロマトグラフィー」「脱水素酵素」「発酵」「ユスリカ」などをキーワードにした観察や実験が行われていることが示された。「(2)生殖と発生」では「ウニ」「発生」「カエル」「受精」「胚」「卵」「花粉管」「プレパラート」などの単語が頻出していた。「(3)生物の環境応答」では「ブタ」「解剖」「盲斑」「眼」

「ニワトリ」「眼球」「脳」,「(4)生態と環境」では「土壌」「標識再捕法」「野外」「植生」,「(5)生物の進化と系統」では「標本」「解剖」「化石」「手羽」「系統樹」「骨格」などの単語が多く出現していた。

次に、共起ネットワークを作成し、これらの単語がどのような関連を持って記述されていたのかを可視化した。その際、各学習分野で抽出された単語数(異なり語数)の上位10%程度の単語を解析対象とした。また、例えば同じアルコール発酵の実験を行っているのに、回答者によって「キューネ発酵管」「キューネ管」「キューネ」「イースト」「イースト菌」という別の単語で記述されていることがある。これらは「アルコール発酵」という1つのコンセプトとして集計されるべきである。そこで抽出された単語を個別に確認し、同一のコンセプトを付与するためのコーディングルールを作成して解析を行った。それ

表 4 「Q5. どのような学習分野の教材があれば使ってみたいか」に関する自由記述における頻出語と出現頻度

(1) 生命現象と物質		(2) 生殖と発生		(3) 生物の環境応答		(4) 生態と環境		(5) 生物の進化と系統	
抽出語	出現数	抽出語	出現数	抽出語	出現数	抽出語	出現数	抽出語	出現数
実験	52	発生	61	実験	28	教材	33	教材	44
遺伝子	49	ウニ	37	植物ホルモン	23	実験	29	生物	24
PCR	47	観察	28	動画	21	シミュレーション	17	進化	22
電気泳動	45	カエル	24	神経	19	生徒	15	系統	21
組み換え	36	分かる	23	教材	17	生物	14	実験	21
キット	33	実験	19	収縮	13	映像	12	生徒	15
DNA	31	教材	18	キット	11	動画	12	分かる	14
細胞	26	動画	18	観察	11	理解	12	標本	13
教材	21	モデル	14	筋肉	9	個体	10	映像	12
模型	20	受精	14	筋	8	手軽	9	動画	12
分かる	19	植物	14	モデル	7	データ	8	理解	12
簡単	18	胚	14	光屈性	7	バイオーム	8	活動	9
モデル	17	キット	12	使う	7	観察	8	見る	9
手軽	17	卵	12	植物	7	活動	7	骨格	9
動画	16	過程	11	測定	7	授業	7	作成	9
抽出語数	1,630		1,011		727		893		1,005
異なり語数	509		327		292		344		339

「Q5. どのような学習分野の教材があれば使ってみたいか」について、集計結果を図 12 に示す。「遺伝情報の発現」の分野で教材を望む回答が特に多く、約 4 割の教諭が求めていることが明らかになった。また、それ以外の分野でも平均的におよそ 2 割の教諭がなんらかの教材を望んでいた。具体的に求められている教材を調べるために形態素解析を行った結果、総抽出語数は 10,878 語、異なり語数は 1,324 語であり、そのうち助詞や助動詞などを除いた解析対象となる総抽出語数は 5,303 語、異なり語数は 1,123 語であった。各分野ごとに上位 15 語の頻出語と出現頻度を表 4 にまとめた。「(1)生命現象と物質」では「遺伝子」「PCR」「電気泳動」「組み換え」「DNA」「模型」「動画」などの単語が頻出しており、「(2)生殖と発生」では「発生」「ウニ」「カエル」「動画」「受精」「胚」「卵」、 「(3)生物の環境応答」では「植物ホルモン」「動画」「神

経」「収縮」「筋肉」「光屈性」、 「(4)生態と環境」では「シミュレーション」「映像」「動画」「バイオーム」、 「(5)生物の進化と系統」では「進化」「系統」「標本」「映像」「動画」「骨格」などの単語が多く出現していた。また、「(1)生命現象と物質」と「(4)生態と環境」の分野では、「簡単」「手軽」という単語が頻出していた。

次に、出現頻度 14 回以上の単語 66 個を対象とし、集合間の類似性を表す Jaccard 係数の大きいものから 100 位までの共起関係を可視化した。図 13 に得られた共起ネットワークを示す。この図に描画されているのは単語 66 個のうち 64 個 (node)、共起関係を示す線 674 本のうち 100 本 (edge) であり、その密度は 0.05 であった。共起ネットワークには 6 個のグループが認められた。「(1)生命現象と物質」の分野で求められている教材はグループ 2 および 3 に現れており、単語の共起関係から遺伝子組み換えのキット、DNA の PCR や電気泳動に関する教材、分子や酵素の模型が挙げられた。「(2)生殖と発生」の分野に関しては、グループ 5 においてウニの受精やカエルの発生を観察するセットが求められていた。「(3)生物の環境応答」の分野についてはグループ 1 に共起関係が示されていて、植物ホルモンの実験教材が挙げられた。「(4)生態と環境」の分野はグループ 1 および 4 に単語の共起関係が現れており、モデルや可視化を通して生徒が活動できるような教材、アニメーションやビデオなどの視覚教材が求められていた。「(5)生物の進化と系統」では、グループ 2 および 6 において系統樹や模型、データを使って生徒が考察できるような教材、進化シミュレーションに関

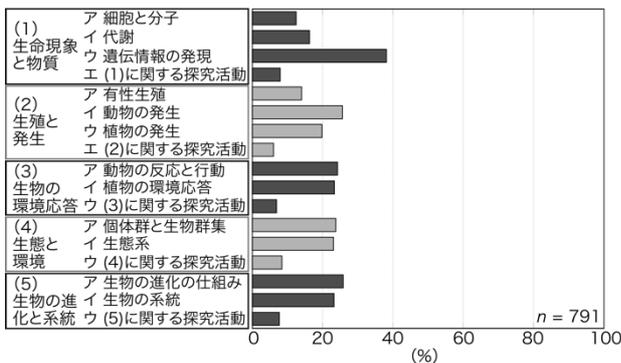


図 12 「Q5. どのような学習分野の教材があれば使ってみたいか」の集計結果

する教材が求められていた。

さらに、抽出語と5つの学習分野との対応関係を対応分析(コレスポンデンス分析)によって二次元平面上に布置したものを図14に示す。出現頻度15回以上の単語56個を解析対象とした。対応分析では、どの分野でも現れる特徴のない抽出語は原点近くに布置される。また、関連の強い語同士は近くに布置され、距離が離れていても原点から見て同じ方向にあればそれらの語は同じような意味づけを持つと考えられる。図14では、第一、第二象限に「映像」「シミュレーション」「データ」「標本」などの生きている試料とは異なる教材や教具を指す単語が布置され、第三象限には「細胞」「遺伝子」「PCR」などの分子生

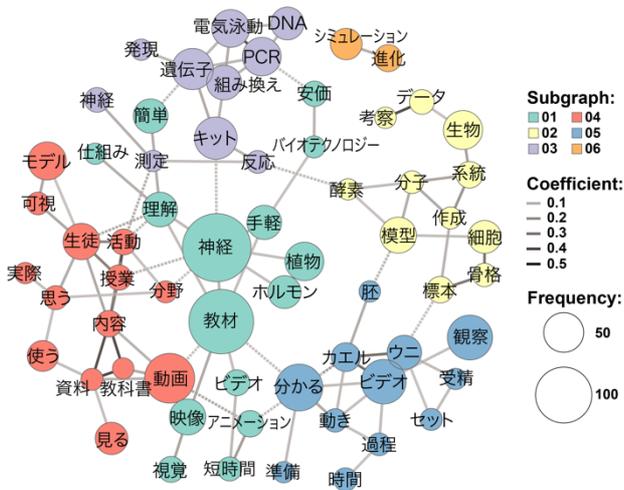


図13 「Q5. どのような学習分野の教材があれば使ってみたいか」に関する自由記述に現れた単語の共起ネットワーク

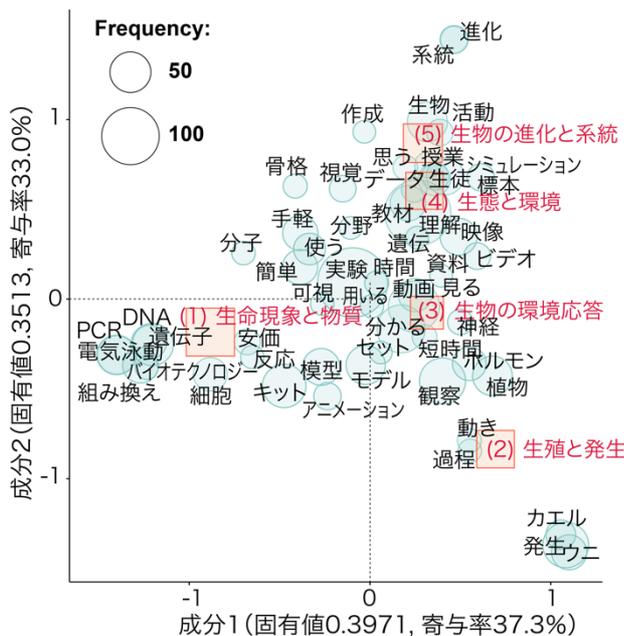


図14 「Q5. どのような学習分野の教材があれば使ってみたいか」に関する自由記述に現れた単語の対応分析の結果

物学的な単語が、第四象限には「植物」「カエル」「ウニ」などの動植物を直接指す単語が布置された。第三象限にある「(1)生命現象と物質」の分野では、原点から見て同じ方向に「遺伝子」「組み換え」「DNA」「PCR」「電気泳動」「安価」などの単語がまとまって布置され、「安価」な「バイオテクノロジー」に関する教材が求められていることが示された。第四象限には「(2)生殖と発生」が「動き」「過程」「カエル」「ウニ」「発生」などの単語と同じ方向にあり、実際にこれらの単語が出現する文脈(KWIC; keyword in context)を調べると、胚の発生過程や陥入の動きが分かる教材が求められていた。「(3)生物の環境応答」は原点近くに位置し、「植物ホルモン」や「神経」に関する教材、「動画」教材などとの関連が強く示された。第一象限には「(4)生態と環境」と「(5)生物の進化と系統」が隣接しており、原点から見て同じ方向には「シミュレーション」「遺伝」「データ」「標本」「系統」「進化」「生徒」などの単語が布置されていた。それぞれの単語の文脈から、進化や系統のシミュレーション、遺伝的浮動のシミュレーション、実験データを与えて生徒自身が解析したり考察したりできる教材、進化の順序が分かる骨格標本などが求められていた。

「Q6. 自分で設計図をダウンロードして製作できる教材がウェブサイトに掲載されたら利用したいか」に関する集計結果を図15(a), (b)に示す。全体では98%以上の教諭から利用したいという回答を得た。(図15(a)). また、

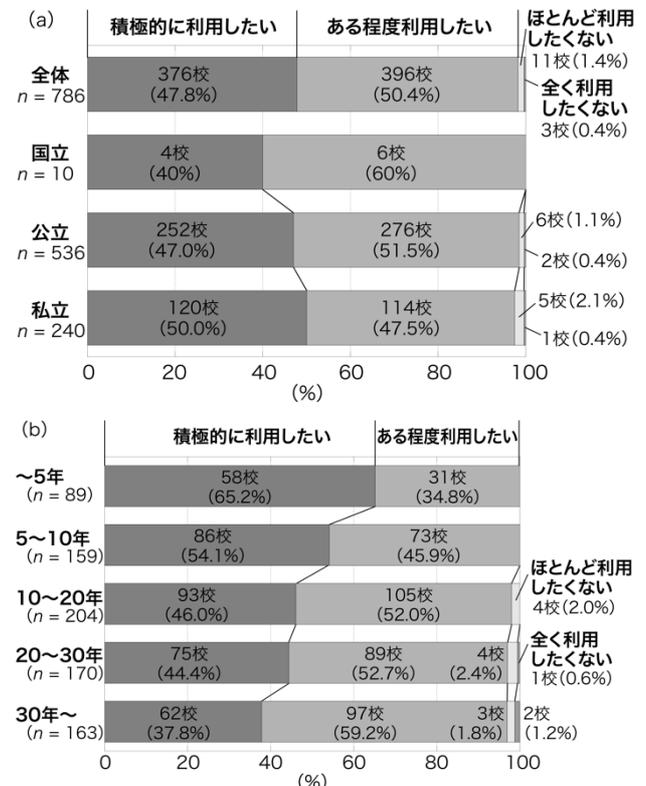


図15 「Q6. 自分で設計図をダウンロードして製作できる教材がウェブサイトに掲載されたら利用したいか」の集計結果。(a) 高校種別, (b) 教職経験年数別。

教職経験年数が短い若い教諭ほど「積極的に利用したい」という肯定的な回答の割合が多くなった (図 15(b)).

「Q7. 技術的な問題から製作を諦めている教材のアイデアはあるか」という問いに関する集計結果を図 16(a), (b)に示す. 高校種別や教職経験年数にかかわらず, 2 割以上の教諭がアイデアを持ちながらも技術的な理由で製作を諦めている教材があることが明らかになった.

IV 考察

本研究では, ①自分で部品から作り出して組み立てられ, ②設計や製作に関する電子データがすべて無償公開され, ③その電子データを自由に改変できる, 新しい考え方のバイオウェアを開発するにあたり, 観察や実験の実施状況, 教材や教具の利用の現状, 求められている教材や教具の種類について高校教諭を対象とした郵送アンケート調査を実施した. そして開発するバイオウェアの種類を検討するために, その回答を単純集計するだけでなく, テキストマイニングの手法を用いて頻出する単語同士の関係性を解析した.

アンケート用紙の発送は全国高等学校リスト (4,985 校) から選んだ 2,000 校の高校に対して行われた. スーパーサイエンスハイスクール指定校 (207 校), 普通科を設置する国立高校 (10 校) と福岡県下の高校 (119 校) を優

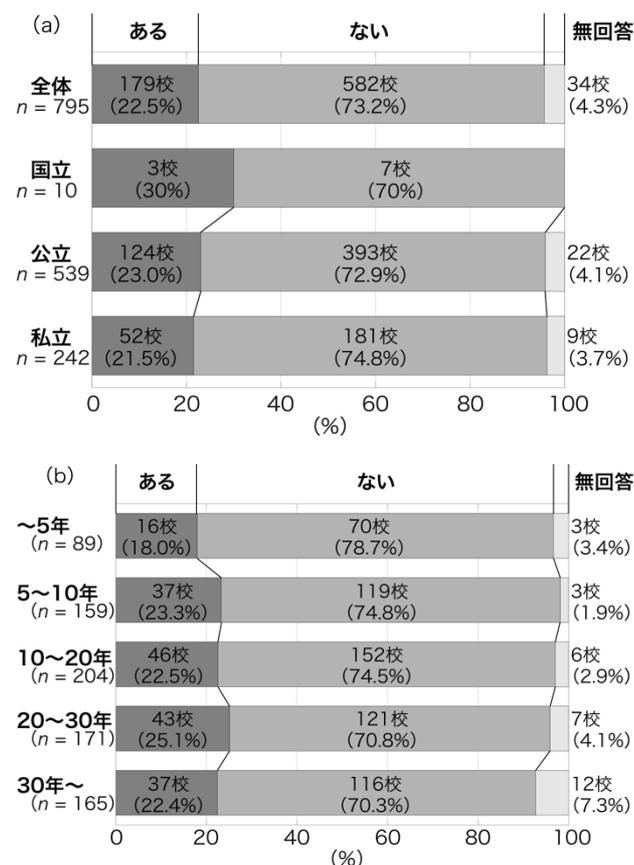


図 16 「Q7. 技術的な問題から製作を諦めている教材のアイデアはあるか」の集計結果. (a) 高校種別, (b) 教職経験年数別.

先して順番に選んだ結果, 高校種別で送付先を数えると国立 17 校 (0.85%), 公立 1,311 校 (65.6%), 私立 672 校 (33.6%) であった. これは, もともとのリストに掲載された高校の種別ごとの割合である国立 20 校 (0.40%), 公立 3,585 校 (71.9%), 私立 1,380 校 (27.7%) と大きな違いはなかった. また, 795 件の回答は国立 10 校 (1.3%), 公立 539 校 (67.8%), 私立 242 校 (30.4%), 無回答 4 校 (0.5%) から得られており, これらの割合も全国高等学校リストの種別ごとの割合と大差はなかった. したがって, バイオウェア開発のアイデアを集めるためのアンケートであるので必ずしも全国の高校からまんべんなく意見を集める必要はないが, 本研究で得られたアンケート結果は全国の総体的な高校の現状を反映していると考えて差し支えないと思われる.

アンケートの設問については事前に数名の高校教諭に聞き取り調査した経験をもとに決定した. この設問について注意すべき点を 3 つ挙げる. まず, アンケートの中では我々が開発を目指しているバイオウェアを「教材」と記載した. しかしながら, 生物科目においては生物試料そのものを「教材」として用いることが多く, そのような観点から考えるとバイオウェアは「教具」であり, 回答者によっては設問を分かりにくいと感じたかもしれない. 次に, 設問 Q4 と Q5 では現在実施している観察や実験と使ってみたい教材をそれぞれの学習分野に分けて質問した. 各分野の「探究活動」も質問内容に含まれているが, アンケートでは「探究」とすべきところを「探求」と誤植した. しかしながら, ここで示した学習分野や内容は現行の高等学校学習指導要領に基づいたものなので, 誤植を正してそれぞれ回答していただいたと思われる. 最後に, 設問 Q6 で尋ねた「自分で設計図をダウンロードして製作できる教材」はこれまでにないものなので, どのようなものかイメージできなかった回答者がいたかもしれない. 98%以上の教諭から利用したいという回答が得られたが, どのような教材が分からないが期待を込めて「利用したい」と回答されたケースを含んでいると思われる.

アンケート設問 Q1 と Q2 の結果を見ると, 週に 1 回以上の観察や実験を実施している高校はごく少数 (1.8%) であり, 約 80%の高校では数か月に 1~2 回以下しか実施していなかった. アンケートを単純集計した結果およびテキストマイニングの手法によって自由記述を解析した結果, 観察や実験を行うにあたり障害になっているのは, 授業時間や準備・片付け時間の不足, 他の業務の忙しさ, 設備・備品や消耗品の不足 (予算不足), 教諭自身の知識, 経験, 能力の不足, 教科書の内容に沿う実験や観察には実施が難しいものが多いこと, 実習助手や実習教諭の不足, 生物試料の調達の難しさであった. バイオウェアの開発には, これらの問題を解決する視点が必要であることが示唆された. すなわち, 準備や片付けが不要, あるいは生徒だけで準備や片付けができる教材, 安価な教材,

観察や実験について説明する副教材が付属した教材, 実習助手がいなくても生徒だけで自立的に学べる教材, 生物試料が不要, あるいは容易に調達して利用できる教材が望ましい。

設問 Q5 の結果から, 「遺伝情報の発現」の分野では約 4 割の教諭が教材を望んでいることが明らかになった。自由記述から抽出した単語の共出現を共起ネットワークや対応分析によって調べると, 安価な遺伝子組み換えキット, DNA の PCR や電気泳動に関する実験教材が求められていることが示された。これらの実験を行うには, マイクロピペット, 振動ミキサー, サーマルサイクラー, 電気泳動槽などの実験機器が必要となり, このような機器はバイオウェアとして開発対象となりうる。すでにオープンソース機器として公開されているものもあるが (Bellon et al. 2018, Bravo-Martinez 2018, Dhankani and Pearce 2017, OpenPCR アクセス 2019.2.7), これらは既製の実験機器に遜色ない精度で実験できるように開発されているために, 高校生物の実験に用いるために生徒自身が準備するには複雑, 高価, 性能過剰であると思われる。遺伝情報に関する実験を簡単, 安価にサポートする教材 (教具) が求められる。

「遺伝情報の発現」以外の分野でもまんべんなく, それぞれ 2 割程度の教諭がなんらかの教材を望んでいた。ウニの受精やカエルの発生のように比較的多くの高校で実施されている実験 (図 8) の他, 分子や酵素の模型, 進化の分かる骨格の模型, 進化や系統のシミュレーション教材, アニメーションやビデオのような視覚教材が強く求められていた。模型, シミュレーション教材, 視覚教材は, 本研究で目指しているバイオウェアの開発から外れる教材であるが, インターネットを介して共有できるという観点から考えると同じ方向性を持つ教材である。例えば, 分子や酵素の三次元形状の電子データは簡単に共有することができ, 3D プリンターやレーザーカッターなどのデジタルファブリケーション機器にその電子データを送ればどこにいても模型を作り上げることができる。シミュレーションのためのソフトウェアや動画は学習用に限らず多くのものがインターネット上で公開されており, だれでもいつでも使える。しかしながら, これらのコンテンツは個人から大手にいたるまでいろいろなウェブサイトに分散しており, 学習に使いたいと考えても良質なソフトウェアや動画を探し当てるのが難しい。また, 管理者の都合でウェブサイトがなくなり, よい教材が散逸してしまうこともある。我々が開発を目指しているバイオウェアを含めて, 電子データをベースとする教材をどのようなプラットフォームで公開, 維持, 管理していくかは重要

な課題である。

設問 Q7 では, 高校種別や教職経験年数にかかわらず 2 割以上の教諭が, 教材のアイデアを持ちながらも技術的な理由で製作を諦めていることが明らかになった。本研究で目指すバイオウェアの取り組みは, これらのアイデアを拾い集め, 3D プリンターやレーザーカッターのようなデジタルファブリケーションツールによって簡単に製作できる教材をデザインし, さらにオープンソース教材として広く公開するものである。だれでも電子データをダウンロードして製作できる教材は, 教諭の授業準備の負担軽減をもたらすだけでなく, 生徒が自ら教材を製作して学習するというアクティブラーニングの素材としても使える。このような教材の利用者は教諭や高校生に限定されるものでなく, 小中学生やバイオ実験に興味を持つ人が世界のどこからでも必要な電子データをダウンロードして教材を作って学べるようになる。自分で作ることは原理のより深い理解をもたらす。さらに, 自分で工夫したり変更したりする余地が生まれる。このような経験がイノベーションマインドを育むことに繋がると考える。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 17K18652 の助成を受けて行われた。また, 忙しい業務の中, アンケートにご協力下さった先生方に感謝する。

文献

- Bellon, J. A., Pino, M. J., Wilke, N. (2018) Low-cost equipment for electroformation of Giant Unilamellar Vesicles. *HardwareX*, 4: e00037.
- Bravo-Martinez, J. (2018) Open source 3D-printed 1000µL micropump. *HardwareX*, 3: 110-116.
- Dhankani, K. C. and Pearce, J. M. (2017) Open source laboratory sample rotator mixer and shaker. *HardwareX*, 1: 1-12.
- 樋口耕一 (2014) 社会調査のための計量テキスト分析 -内容分析の継承と発展を目指して- 初版, ナカニシヤ出版。

本文中で参照した資料

- FabLab Japan Network. <http://fablabjapan.org/> (アクセス 2019. 1. 23)
- OpenPCR. <https://openpccr.org/> (アクセス 2017.2.7)
- OPEN-SOURCE BIOWARE PROJECT. <http://bioware.sakura.ne.jp/> (アクセス 2019. 1. 23).

日本語要旨

オープンソース生物教材の開発へ向けた全国アンケート調査

藏田 耕作・高松 洋

九州大学大学院工学研究院機械工学部門

本研究では、自分で部品から作り出して組み立てられ、設計や製作に関する電子データがすべて無償公開され、その電子データを自由に改変できる、新しい考え方のバイオ教育ハードウェア (バイオウェア) を開発するにあたり、そのニーズを調査することを目的とし、高校教諭を対象とした郵送アンケート調査を実施した。全国高等学校リスト (4,985校) から選んだ 2,000 校の高校に対して、観察や実験の実施状況、教材や教具の利用の現状、求められている教材や教具の種類、技術的問題から製作を諦めている教材アイデアなどについてのアンケートを送付した。その結果、国立 10 校 (1.3%)、公立 539 校 (67.8%)、私立 242 校 (30.4%)、無回答 4 校 (0.5%) の合計 795 件の回答を得た。設問ごとに回答を単純集計するだけでなく、自由記述については形態素解析を行って頻出語や特徴語を抽出し、さらにテキストマイニングの手法を用いて頻出する単語同士の関係性を解析した。約 80% の高校では観察や実験の実施が数か月に 1~2 回以下であり、授業時間や準備・片付け時間の不足、他の業務の忙しさ、設備・備品や消耗品の不足 (予算不足) などが障害になっていることが明らかになった。バイオウェアの開発には、これらの問題を解決する視点が必要であることが示唆された。また、半数以上の教員が「細胞と分子」「代謝」「遺伝情報の発現」「動物の発生」「動物の反応と行動」の分野で観察あるいは実験を行っていたが、約 4 割の教諭が「遺伝情報の発現」に関する教材を使ってみたいと望んでいた。それ以外の分野でも平均的におよそ 2 割の教諭が、ウニやカエルの発生、植物ホルモンの実験、系統樹や模型、進化シミュレーション、動画などの教材を望んでいた。これらの情報をもとにして、3D プリンターやレーザーカッターのようなデジタルファブリケーションツールによって簡単に製作できる教材をデザインし、さらにオープンソース教材として広く公開する取り組みを進める予定である。