味覚センサを応用した出張理科教室による 高校生の理科教育への取り組み

Approach to Science Education of High School Students by a Delivery Science Class
Applying Taste Sensor

鍛 本 一 至^{※1}
Kazushi KUWAMOTO

巫 霄^{※1}
Xiao WU

田 原 祐 助^{※1}
Yusuke TAHARA

都 甲 潔^{※1}
Kiyoshi TOKO

栗 焼 久 夫^{※1}
Hisao KURIYAKI

1. はじめに

経済協力開発機構（Organisation for Economic Co-operation and Development: OECD）が実施した2006年度の生徒の学習到達度調査（Programme for International Student Assessment: PISA）において、日本の高校1年生は、科学的リテラシー分野で57カ国中、第6位の得点をあげている¹⁾。ここで、日本よりも統計的に有意に高い得点をあげた国はフィンランドのみであったことから、日本の生徒は国際的に高い学力水準を有するといえる。一方で、同年のアンケートにおいて「私は自分の役に立つとわかっているので、理科を勉強している」、「私は理科の科目からたくさんのことを学んで就職に役立てたい」という2つの質問に対して、「そうだと思う」「全くそうだと思う」と回答した生徒の割合は、ともに国際平均を20ポイント近く下回った¹⁾。以上を踏まえると、日本の生徒は国際的に高い理科学力を有しているにもかかわらず、理科を学ぶ意義や有用性に関しては実感していないといえる。

文部科学省では、このような現状を「理科離れ」と命名し、本問題の改善に向けて、スーパーサイエンスハイスクール（SSH）、未来の科学者養成講座、サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト（SPP）等の理科教育事業を推進している²⁾。これらの事業は、科学実験を通して「理科は楽しい」と生徒に実感させることで、将来的に科学者を志す生徒の拡大を目指している。このとき、生徒の理科への関心を高めるために、「理科は楽しい」という感情を抱かせることは確かに重要である。しかしながら、PISA2006のアンケートを考慮すると、生徒の理科離れの原因は、理科への関心の低さだけではなく、理科を学ぶ意義や有用性を実感できていない点にも起因すると考える。従って、理科教

育事業の科学実験では、生徒の関心を引きやすく、なおかつ、理科を学ぶ意義や有用性を実感できる題材を取り扱うことが重要である。本研究では、人間の味覚を再現する味覚センサが、高校の履修科目である「生物」「物理」「化学」と関連した特徴を持ち、さらに、食品業界や医薬品業界で応用されている先端技術であることから、理科教育への応用性を期待して科学実験の題材として取り上げた。

味覚センサは、脂質高分子膜を貼付した作用電極と参照電極から構成される2電極系の機構を有しており、作用電極の膜電位を測定することで食品の味を数値化している^{3), 4)}。ここで、作用電極で使用する脂質高分子膜の組成を調整することで、基本味（塩味、酸味、うま味、苦味、甘味）および渋味の各味に対して選択的に応答するセンサ特性を実現している^{3), 4)}。現在、味覚センサを搭載した味認識装置が、(株)インテリジェントセンサーテクノロジーから市販されている。味覚センサの測定原理は、水溶液中で帯電する脂質高分子膜とイオン化した呈味物質間にはたらく静電的あるいは物理的な相互作用に起因した膜電位の変化に基づいている⁵⁾。

味覚センサの特徴である生体模倣や測定原理は、高校の履修科目である「生物」「物理」「化学」と以下の点に関連している。

- (1) 生物：人間の味覚を数値化する、
- (2) 物理：2本の電極間の電圧を測定する、
- (3) 化学：イオンとの相互作用を利用する

従って、我々は味覚センサを応用した理科教材が、生徒に座学と先端技術との繋がりを把握させ、理科を学ぶ意義と有用性を実感させる良い教材になると期待している。現在、筆者らは、中高生の理科への学習意欲を向上させるために理科教材としての味覚センサ（以降、教育用味覚センサと呼称する）の開発を行っている⁶⁾。本稿では、高校生の理科教育への取り組みとし

2014年3月29日受付

※1九州大学

て、教育用味覚センサを大阪市立東高等学校での出張理科教室に導入した成果について報告する。ここで、出張理科教室とは、生徒の理科離れを改善するために、大学や企業が中学校や高校に出向いて科学実験などを実施する授業を指している。

2. 出張理科教室の内容

平成25年7月11日に大阪市立東高等学校で出張理科教室を実施した。本理科教室は、1時間半の開催で、普通科理数コースおよび理数科に在籍する高校2年生36名（男子12名、女子24名）が参加した。このとき、理科教室の参加者は、東高校の教員が授業やポスターで理科教室の内容を生徒に告知することで募集した。当日は、我々の研究室の教員2名およびTA（Teaching Assistant）5名で実施した。次節より、本理科教室の実施内容をタイムスケジュールに沿って記述する。

2.1 大学紹介および市販飲料を用いた実験

理科教室の冒頭では、九州大学電気情報工学科および我々の研究室について紹介した。その後、生徒の関心を引くために、市販飲料を用いた簡単な実験を行った。実験では、牛乳、麦茶および砂糖を混ぜ合わせて、希望する生徒に試飲させた（この混合液はコーヒー牛乳と似た味を呈する）。当日は、ほとんどの生徒が本実験に参加した。次に、生徒に味覚センサの有用性を認識させるために、上記の混合液と市販のコーヒー牛乳の味が似ていることを味覚センサの測定結果で示した。最後に、履修科目との繋がりを実感させるために、味覚センサの測定原理とその応用分野についてパワーポイントを用いて説明した。

2.2 教育用味覚センサを用いた実験

本実験では、生徒は7名あるいは8名の班に分かれた（全5班）。ここで、各班にはTAが1名ずつ就き、班の進行状況に応じてサポートを行った。また、教員2名は教室全体のサポートを担当した。次項より、本実験の詳細について記述する。

図1 教育用味覚センサ作製の様子

(1) センサ材料

教育用味覚センサの脂質には、市販の味覚センサ電極で用いられているTOMA（trioctylmethylammonium chloride, 東京化成工業株）およびPAEE（phosphoric acid di（2-ethylhexyl）ester, 東京化成工業株）を使用した。また、脂質を含浸させる支持膜としてテフロン膜（ポアサイズ $0.1\mu\text{m}$, 東洋濾紙株）、中空棒としてポリ塩化ビニル素材のものを使用した。ここで、TOMAおよびPAEEを採用した理由は、第一に、市販の味覚センサの脂質高分子膜で使用されていること、第二に、水溶液中でそれぞれ正と負に帯電することで、静電相互作用を利用した酸味への応答が可能であること、第三に、常温で液体であり、脂質溶液の希釈に用いるエタノールに溶けやすい性質を有することに基づいている。

(2) 教育用味覚センサの作製

センサを作製する生徒は各班4名とし、希望者による挙手で担当者を決定した。また、希望者がいない場合は、TAが座席位置などを考慮して担当者4名を指名した。担当する生徒は、以下の作製手順およびTAの指示に従い、1人2本ずつセンサを作製した（図1）。

(a) テフロン膜を中空棒の先端に被せて輪ゴムで固定する。

(b) テフロン膜を脂質溶液に30秒間浸す。その後、10分間乾燥させる。

(c) 中空棒の内部に3.3 M KClを充填し、銀塩化銀電極を取り付ける。

完成した教育用味覚センサを図2に示す。このとき、脂質溶液には、TOMAあるいはPAEEをエタノールで希釈したものを用いた。

(3) 測定サンプルの調製

センサ作製を担当しない生徒は、市販のクエン酸と

図2 作製した教育用味覚センサ

図3 実験機構

ミネラルウォーターを用いて、測定実験で使用するサンプルを調製した。カップに投入するクエン酸スティックの本数を調整することで5濃度のクエン酸サンプル (1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0g/150mL) を用意した。

(4) 実験機構および測定手順

市販の味覚センサの測定手法と同様に、作用電極と参照電極から構成される2電極系の測定機構を採用した。このとき、教育用味覚センサを作用電極、銀塩化銀電極を参照電極として使用し、両電極をそれぞれ電圧計に接続した(図3)。生徒は以下の手順でサンプルを測定した。

- (a) 作用電極および参照電極を洗浄液ですすぐ。
- (b) 両電極を基準液に浸し、1分後に電圧 (V_r) を測定する。
- (c) 作用電極および参照電極を洗浄液ですすぐ。
- (d) 両電極をサンプルに浸し、1分後に電圧 (V_s) を測定する。

以上が測定の1サイクルである。実験では、5種類のクエン酸サンプルで1サイクルずつ繰り返した。ここで、サンプルで測定された電圧 (V_s) から基準液で測定された電圧 (V_r) を引いたものをセンサ応答電圧 ($V_s - V_r$) と定義した。また、基準液および洗浄液にはミネラルウォーターを使用している。

(5) 実験結果

実験が成功すると、センサ応答電圧がサンプル濃度の対数に比例したグラフが得られる。本理科教室では、半数の班で期待通りの結果が示された。ここで、実験が失敗した要因には、中空棒にスポイトを用いて内部液を注入する際に、生徒が不慣れであるために気泡が混入したことが考えられる。

(6) 官能検査

官能検査では、測定実験で用いた5濃度のクエン酸サンプルのうち、人間が味の違いを区別できる最小幅の1.2倍³⁾に近い濃度差である4濃度のサンプル (1.5,

図4 官能検査の様子

2.0, 2.5, 3.0g/150mL) を使用した。試飲者は、ランダムに並び替えられた4つのサンプルを試飲し、左から濃度が薄いと感じた順番に並び替えた(図4)。本実験では、サンプル濃度を人間が味を区別できる限界値付近に設定しているため、1回目の正答率が3割程度に止まった。このとき、サンプルの並び替えが正解するまで何度も挑戦する生徒が見受けられた。

3. 出張理科教室の評価

今回の出張理科教室を評価するために、参加した生徒36名に対して無記名式のアンケートを実施した。本アンケートでは、それぞれの質問に対して5段階(強くそう思う, そう思う, どちらでもない, そう思わない, 全くそう思わない)から自身の回答に最も近い選択肢を選ぶ形式を採用した。また、各設問には、回答した理由を記述するための空欄を設けた。アンケートの設問とその結果を図5に示す。本アンケートは、理科教室への参加者36名のうち、提出がなかった1名を除いた35名から回答を得た。

設問1は、PISAのアンケート結果を意識したもので、今回、肯定の「強くそう思う」「そう思う」と回答した生徒の割合は68%となり、PISA2006の類似した設問の平均値42%¹⁾と比較して高い数値を示した。これら2つのアンケートでは、対象学年や母集団等が異なるため、本結果が生じた要因を特定することは難しいが、その理由の1つとして、本理科教室において希望者が参加する形式を採用したことが考えられる。設問2では、肯定の「強くそう思う」「そう思う」と回答した生徒の割合は97%に達したことから、ほとんどの生徒が、本理科教室が座学の応用分野を知る良い機会になったと感じていることが読み取れる。ここで、本設問の回答理由には、「実験器具など普段触れないものに触れることができた」「大学で行われていることを知ることができたので、進路を決める上で参考になった」などの意見がみられた。設問3では、肯定の「強

- 設問1. 将来、理系科目（生物，物理，化学）で得た知識を必要とする職業に就きたいと思いますか。
 設問2. 今回の理科教室は理系科目（生物，物理，化学）の応用分野を知る良い機会になりましたか。
 設問3. 今回の理科教室を通して、理系科目を勉強することは重要だと思うようになりましたか。
 設問4. 今回の理科教室で楽しかった点あるいはつまらなかった点について自由に記述して下さい。
 設問5. 全体を通して、疑問に思ったことや改善してほしい点があれば自由に記述して下さい。

図5 生徒向けアンケート結果

くそう思う」「そう思う」と回答した生徒の割合は94%となったことから、本理科教室を通して、大部分の生徒が理科を勉強することの重要性を認識したことが分かった。本設問の回答理由には、「将来、理系の道に進むためには基礎知識として理系科目を勉強することは必要だと思う」「日常で、理科が知らないうちに使われていることを知って興味が湧いた」などの意見がみられた。設問4では、本理科教室の楽しかった点として、自身の味覚と教育用味覚センサの応答を比較した実験や、クエン酸の濃度を当てる官能検査を挙げた生徒が多かった。反対に、つまらなかった点として、実験の意図が分からなかったと回答した生徒が1名いた。全体的に肯定的な意見が多かったことから、本理科教室の実験などが生徒にとって好感触であったといえる。設問5では、理科教室の開催への感謝に関する記述が大部分を占めていた。その他の意見としては、「実験が失敗して悔しかった」「九州大学や大学受験の話について聞きたかった」などの意見がみられた。

本理科教室は、普通科理数コースおよび理数科に在籍する生徒を対象とし、なおかつ、希望者参加型で実施したものであるため、生徒を無作為抽出した場合と比較してアンケート結果が高い数値を示した可能性は否定できない。しかしながら、我々が実施した味覚センサを用いた初めての理科教室としては、おおむね良好な結果が得られたと考えている。

4. 問題点の分析と改善策の検討

4.1 問題点の分析

今回の出張理科教室における問題点を分析するため

- 設問1. 今回の理科教室では、生徒がよく質問していたと思いますか。
 設問2. 今回の理科教室では、生徒の質問に対して適切に回答できましたか。
 設問3. 理科教室で行った実験は、停滞なくスムーズに進めることができましたか。
 設問4. 理科教室中の雰囲気は良かったですか。
 設問5. 今回の理科教室で感じた良い点と悪い点について自由に記述して下さい。
 設問6. 全体を通して、疑問に思ったことや改善してほしい点があれば自由に記述して下さい。

図6 TA向けアンケート結果

に、サポーターとして参加したTA5名に対して記名式のアンケートを実施した。TA向けのアンケートでは、生徒向けのアンケートと同様の形式を採用した。アンケートの設問とその結果を図6に示す。

設問1では、「強くそう思う」と回答したTAはいなかったものの、否定的な回答は示されなかった。このとき、本設問の回答理由では、「生徒が実験内容や進路などについて積極的に質問してきた」という意見が大半を占めていた。従って、今回の理科教室では、生徒が積極的に参加できていたと思われる。設問2では、TAから否定的な回答は示されなかったものの、回答理由において、「普段、教育用味覚センサの開発に携わっていないので回答できない質問があった」「専門の分野ではないので、脂質の電荷の符号を答える際に戸惑った」などの意見がみられた。従って、TAに向けた理科教室前のゼミが不十分であったことが示された。設問3では、前設問と同様にTAから肯定的な回答が得られたが、その理由において、「実験のなかで失敗しやすい部分があった」「TA同士で実験の要点を共有し、実験がよりスムーズに進むように努めたい」などの意見がみられた。設問4では、TA全員から肯定的な評価を得ることができた。回答理由としては、「市販飲料を用いた実験や、クエン酸を使った濃度当て実験で盛り上がった」という意見が多くみられた。設問5では、理科教室の良い点として、初めての理科教室であったが道具の不足がなかったことや、プレゼンテーションを使って生徒の興味を引きやすくしていたことが挙げられた。また、悪い点としては、冒頭の大学等の説明が長かったことや、楽しむ実験と真面目に取

り組む実験のメリハリが無かったなどの意見がみられた。設問6では、TAの人数に比べて生徒の人数が多すぎたことや、理科教室前のTAの予行練習の回数が少なかったことなどが挙げられた。また、理科教室の内容ではないが、「当日、会場まで運ぶ器材が多かった」という意見もみられた。

4.2 改善策の検討

生徒およびTA向けのアンケートで挙げられた本理科教室の問題点を以下にまとめる。

- (1) 冒頭の説明が長い。
- (2) 実験で失敗しやすい部分がある。
- (3) TAに向けた理科教室前のゼミが不十分である。
- (4) 楽しむ実験と真面目に行う実験のメリハリがついていない。

今回の理科教室では、冒頭の説明に25分を費やし、当初の予定である20分をわずかに超過した。このとき、説明の内容には過不足は無かったが、理科教室全体の90分における比重が大きいため、研究室の紹介と市販飲料を用いた実験を並行することで時間の短縮を図りたい。実験内容に関しては、スポイトを使って中空棒に内部液を注入する際に気泡が混じってしまう問題があった。改善策として、中空棒を半透明の材料に変更し、気泡が混じったことを容易に確認できる状態にすることで本問題に対処したいと考えている。今回、理科教室前のゼミは、全体を通したりハーサル程度の内容であったため、今後は、ゼミの回数を増やし、教育用味覚センサへの理解を深めることで、TAとして参加する学生に理科教室の内容を熟知させたい。本理科教室の実験では、生徒が盛り上がり過ぎて收拾がつかなくなる場面があったので、生徒の関心を引くような実験は、メリハリをつけるために理科教室の冒頭あるいは最後にまとめて実施するなどタイムスケジュールを工夫したいと考えている。

今回の理科教室は、開催時間が1時間半と短時間であり、実施内容を取捨選択する必要があったが、今後はより長い時間の理科教室を検討しているので、ここで寄せられた意見を参考に、今後の理科教室の内容を取り決めたい。

5. まとめ

本研究では、高校生の理科教育への取り組みとして、味覚センサを導入した出張理科教室を行い、その教育効果を検討した。理科教室では、簡易的な味覚センサを用いた実験を通して、生徒に座学と先端技術との繋がりを認識させ、理科を学ぶ意義と有用性を実感させるように努めた。実施したアンケートより、本理科教室が、高校生にとって履修科目の応用分野にふれる良い機会となり、生徒に理科を勉強することの重要性を

認識させるのに効果的であることが示された。

味覚センサを用いた理科教室は、初の試みであったため、アンケートの意見を参考にして、理科教室の内容をより充実させたいと考えている。今後とも、高校生の理科教育の一環として、本取り組みを継続できれば幸いである。

謝 辞

本研究は、JSPS科研費25560082の助成を受けた。また、出張理科教室の実施に際しては大阪市立東高等学校の西山恵美先生よりご協力を頂きました。ここに、心よりお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 小倉 康：国際比較から見た日本の生徒にとっての理科学習，応用物理，81-10，pp.845-849，2012
- 2) 文部科学省：初等中等教育段階における科学技術人材育成支援，Webページ，http://www.mext.go.jp/a_menu/jinzai/gakkou/1309813.htm，2013，参照日：2013-11-13
- 3) Y. Kobayashi, M. Habara, H. Ikezaki, R. Chen, Y. Naito, and K. Toko: Advanced Taste Sensors Based on Artificial Lipids with Global Selectivity to Basic Taste Qualities and High Correlation to Sensory Scores, Sensors, 10-4, pp.3411-3443, 2010
- 4) Y. Tahara and K. Toko: Electronic Tongues-A Review, IEEE Sensors Journal, 13-8, pp.3001-3011, 2013
- 5) M. Habara and K. Toko: Biomimetic Membrane for Taste Sensing, Bottom-Up Nanofabrication, 6, 91-109, 2009
- 6) 荒瀬仁志, 安浦雅人, 田原祐助, 小野寺武, 栗焼久夫, 都甲 潔: 教育用味覚センサキットの試作, 電気学会研究会資料. CHS, ケミカルセンサ研究会, pp.21-24, 2012

著 者 紹 介

鍛本 一至

2012年3月熊本高等専門学校専攻科電子情報システム工学専攻修了。同年4月九州大学大学院システム情報科学府修士課程進学。現在に至る。電気学会学生会員。